This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT
900000066583
Digitized by Google

Math. 160.

Digitized by Google

MÉMOIRES

SUR

LES ÉCLUSES, LES CANAUX,

ET

SUR L'ÉCOULEMENT DES FLUIDES.

Digitized by Google

Chez { BACHELIER, libraire, quai des Augustins, n° 55.
CARILLIAN-GOEURY, libraire, quai des Augustins, n° 41.
FIRMIN DIDOT, imprimeur-libraire, rue Jacob, n° 24.

On trouve chez les mêmes libraires une brochure du même auteur, intitulée:

Mémoire sur un niveau à bulle d'air et à lunettes, de nouvelles construction.

Mémoire sur les perfectionnemens à apporter au Cercle répétiteur, et sur deux Méthodes de niveler à l'aide de cet instrument, avec une extrême précision et sans employer aucune mesure exacte de longueur.

Digitized by Google

MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU MOYEN

D'EMPLIR ET DE VIDER LES ÉCLUSES,

SUIVI

DE NOTES SUR L'ÉCOULEMENT DES FLUIDES.

CONSIDÉRATIONS

SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA LARGEUR A DONNER AUX COURBES DES CANAUX;

PAR J. P. G^T,

INGÉNIEUR ORDINAIRE DE SECONDE CLASSE AU CORPS ROYAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT,

IMPRIMEUR DU ROI ET DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 24.

1825.

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE
DE L'UNIVERSITÉ
DE GAND

Digitized by Google

AVERTISSEMENT.

Les deux projets d'écluse, dont on va lire la description, et la presque totalité des autres matières qui composent ce volume, devoient faire partie des projets de détail d'un canal, auquel l'auteur étoit attaché. Mais ayant cessé d'y être employé, bien avant que le tracé en fût achevé; son travail seroit resté inconnu, si quelques amis, trop indulgens, n'en avoient pas exigé la publication.

Les discussions qui se sont élevées, relativement au Canal dont il vient d'être question, nous ont appris qu'on n'est point encore fixé sur les principes d'après lesquels on doit se diriger dans le tracé des canaux. Cette incertitude tient apparemment à ceci : qu'au milieu de plusieurs bons livres qui traitent de la navigation artificielle, il n'en est aucun où l'on ait cherché à établir des préceptes pour tous les cas généraux que présentent la composition et la configuration du sol, l'espèce des vallées dans lesquelles on peut avoir à creuser un canal, et enfin la nature des cours d'eau qui en sont voisins.

On se demande comment il se peut que nous ne possédions pas encore le livre dont on vient de donner l'esquisse. Tous les hommes d'un grand talent, qui sont à la tête du corps des Ponts et Chaussées, se seroient-ils accordés pour dédaigner d'écrire sur une matière, qui n'est pourtant pas sans difficulté? Nous ne le pensons pas ainsi : le désir d'être utile auroit suffi pour les y encourager. La véritable raison est qu'aucun d'eux n'a été chargé d'un assez grand nombre de

Digitized by Google

canaux, pour avoir eu à lutter contre tous les genres d'obstacles que la nature oppose quelquefois à l'établissement de ces sortes d'ouvrages. Et comme ils ont senti qu'il y a des difficultés que ne peut prévoir celui qui ne les a pas rencontrées, ils n'ont point voulu se risquer à publier un travail incomplet. Voilà pourquoi les hommes qui ont bien voulu consacrer leurs veilles à notre instruction, ont préféré d'écrire sur des objets de détail ; et tout au plus sur les tracés qu'ils ont dirigés eux-mêmes, et auxquels ils ont dû une partie de leur réputation. Encore n'y a-t-il qu'un trop petit nombre d'ingénieurs, qui ayent pu disposer du temps nécessaire pour nous faire partager le fruit de leur expérience.

La Science des canaux se trouve donc placée dans la même position où seroit l'Histoire, si elle manquoit d'une partie des mémoires particuliers qui sont pour elle comme des flambeaux, destinés à répandre la lumière sur les tableaux politiques qu'elle retrace : on ne pourroit l'écrire, sans s'exposer à y mêler des romans.

C'est les matériaux qui manquent à la construction de l'édifice que nous voudrions voir élevé : quand ils seront rassemblés, il ne manquera pas d'architectes pour les mettre en œuvre. Jamais, peut-être, une occasion aussi favorable ne se présentera pour acquérir ces matériaux, que celle où toute la France se couvre de navigations artificielles. Si tous les ingénieurs qui tracent des canaux consentoient à livrer au public le mémoire qu'on a coutume de joindre à ces grands projets ; et si les ingénieurs qui exécutent leurs propres projets, ou ceux de leurs camarades, consentoient à publier les observations que l'exécution leur aura suggérées ; on peut assurer que, dans un petit nombre d'années, on auroit recueilli tous les documens nécessaires pour composer un traité complet sur ce sujet important. Assurément,

Digitized by Google

il se trouveroit quelques erreurs et quelques contradictions dans ce grand nombre de mémoires; mais il n'y en auroit presque aucun qui ne contînt des choses utiles, et duquel on ne pût tirer un grand profit. On en tireroit, sur-tout, des oppositions les plus marquées dans la manière d'envisager et de projeter le même travail : ce choc, entre les opinions d'hommes éclairés, ne pourroit manquer de produire la lumière de la vérité.

Si ces réflexions étoient goûtées par un certain nombre d'ingénieurs, et qu'ils ne fussent point trop rebutés par la lecture de l'ouvrage qu'on leur soumet en ce moment; celui qui les leur présente se feroit un devoir de faire paroître le mémoire qu'il a composé, pour une partie du Canal dont on a fait mention plus haut. Il auroit du moins, en cela, le mérite de sacrifier son amour propre au désir d'être utile : puisque son projet, bien loin d'avoir été approuvé, n'a pas même obtenu la faveur ordinaire d'être présenté au Conseil-Général des Ponts et Chaussées. Mais il espéreroit de ses Camarades la même indulgence que lui ont témoignée ceux des Membres du Conseil qui ont bien voulu prendre connoissance de ce projet.

En publiant les mémoires relatifs aux canaux dont ils sont chargés, il seroit à désirer que MM. les Ingénieurs insistassent sur les genres dans lesquels ces canaux devroient être classés, et dont voici les principaux (1) : Canal à point de partage. Canal à une seule pente, des-

(1) Cette classification est seulement relative à la configuration du terrain. Dans chaque genre, il faudroit faire des distinctions, suivant la nature de la navigation, grande ou petite, et suivant la qualité et les accidens particuliers que le sol présenteroit.

Digitized by Google

tiné à joindre deux vallées différentes (1). Canal creusé dans une vallée étroite, qui n'est arrosée que par des eaux sauvages ou par des sources très-foibles (les branches descendantes des canaux à point de partage rentrent très-souvent dans cette catégorie). Canal tracé dans une vallée moyenne, au milieu de laquelle coule une rivière médiocre, sujette ou non à de grandes crues. Enfin, canal tracé dans une grande vallée et parallélement à un fleuve considérable, dont le cours est réglé ou torrentiel.

Ces distinctions, et quelques autres que nous n'avons point indiquées, sont essentielles pour éviter les contradictions qu'on trouveroit sans cela, entre les principes auxquels doivent être assujettis les tracés des diverses sortes de canaux. C'est en partie pour n'y avoir eu aucun égard, qu'on a fait de grandes fautes, et qu'un projet de la plus haute importance a éprouvé des retards aussi préjudiciables à

---

(1) Cette classe de canaux renfermeroit plusieurs subdivisions, motivées par la diversité des ouvrages qu'on auroit à projeter dans des hypothèses différentes. En effet, il peut se rencontrer, entre les deux vallées principales, une suite non-interrompue de vallées secondaires, lesquelles permettroient de tracer un canal sans avoir à vaincre de grandes difficultés; mais il arrivera plus communément de trouver les vallées intermédiaires séparées les unes des autres par des chaînes de collines ou par des plateaux élevés, ce qui forcera de recourir aux tranchées profondes et aux souterrains. Il résulte de là une grande analogie avec les travaux des *points de partage*. Néanmoins, il y a la différence, que dans ces sortes de canaux de jonction, les souterrains doivent être évités avec plus de soin, à cause des difficultés qui naissent de la plus grande abondance des eaux souterraines. Bien qu'on n'ait point encore creusé de grands canaux de cette espèce, c'est une considération qui n'échappera pas aux hommes de l'art.

On peut ranger dans la même classe les canaux qui sortent d'une vallée dont ils sont destinés à joindre deux points éloignés. Tel est le Canal de St.-Maur.

Digitized by Google

l'administration, qu'à l'intérêt des contribuables et à celui des localités intéressées. En effet, il suffit d'avoir un peu réfléchi sur cette matière, pour être convaincu que les mêmes règles ne peuvent pas être appliquées à deux canaux, dont l'un est renfermé dans une vallée étroite qui présente sur sa longueur une pente un peu forte, et qui est arrosée par un ruisseau médiocre; et dont l'autre, pratiqué dans une large vallée, est latéral à un de ces grands fleuves, tels que la Loire, la Seine ou le Rhône, qui ont peu de pente habituelle, et qui sont sujets à des débâcles de glace, ou à des crues formidables auxquelles rien ne peut résister.

Digitized by Google

LISTE DES SOUSCRIPTEURS.

Messieurs.	Exemp.
Ailland, libraire à Paris	1
Anselin et Pochard, libraires à Paris	1
Auniet, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées	1
Borgognon, ingénieur des Ponts-et-Chaussées	1
Bossange frères, libraires à Paris	4
Carillian, libraire des Ponts-et-Chaussées à Paris	13
Chambette, ingénieur des Ponts-et-Chaussées	1
Conrad, ingénieur des Ponts-et-Chaussées.	1
Corne, ingénieur des Ponts-et-Chaussées.	1
Defoër, libraire à Liège	3
Demac, libraire à Bruxelles	4
Gouilly, ingénieur des Ponts-et-Chaussées.	1
Ladrange, libraire	1
Leclerc	1
Mengin, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées	1
Mondot, ingénieur des Ponts-et-Chaussées, un exemplaire et les planches non pliées sur papier vélin collé	1
Pattu, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées	1
Pellégrini, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées	1
Roussel, commandant du Génie à l'île de Rhé	1
Treuttel et Wurtz, libraires à Paris	13
Vandekerckove, libraire à Gand	2
Vauvilliers, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées	1
Vifquain, ingénieur en chef à Bruxelles	1

Digitized by Google

FAUTES A CORRIGER.

Page 2, ligne 12, à la fin, après *puisque* mettez une *virgule*.
Idem, ligne 22, au lieu *d'écluses* lisez *des écluses*.
Page 3, ligne 17, effacez *la virgule* après *lève* et placez-la après *vantail*.
Page 8, ligne 20, après *prend*, mettez une *virgule*.
Page 24, ligne 2 des notes, en remontant, après *gargouilles* mettez une *virgule*.
Page 27, ligne 4 du texte, en remontant, au lieu de *était*, lisez *étoit*.
Page 30, ligne 19, à la fin, au lieu de *soit pleine*, lisez *ait été remplie*.
Page 31, ligne 16, effacez la première *h* du mot *athmosphère*.
Page 32, ligne 16, effacez la première *h* du mot *athmosphérique*.
Page 33, ligne 6, même correction.
Page 37, ligne dernière de la note, mettez une *virgule* après *siphon*.
Page 40, lignes 2 et 3, au lieu de *la partie de la branche horizontale qui est d'équerre au tuyau montant, laquelle* mettez *la branche horizontale, dans la partie qui est d'équerre au tuyau montant, et qui*.
Page 42, ligne 5 de la note, effacez la *virgule* après *altéroit* et mettez-la après *dépense*.
Même page, ligne 7 de la note, mettez une *virgule* après *peu*.
Page 48, ligne 9 en remontant, *qu'on* lisez *que l'on*.
Page 49, ligne 3, effacez la *virgule* après *Chardonnet*.
Page 51, ligne dernière, supprimez la première *h* de *athmosphérique* et mettez un *accent aigu* sur le premier *e* de *aeriforme*.
Page 54, ligne 15, ôtez la première *h* de *athmosphérique*.
Page 56, lignes 7, 15 et 24, faites la même correction aux mots *athmosphère* et *athmosphérique*.
Page 61, lig. 22, après *dynamiques*, mettez *un signe de renvoi* (1), et au bas de la page mettez la note qui suit.

(1) *Par grande unité dynamique on entend la force nécessaire pour élever un mètre cube d'eau, ou un poids de mille kilogrammes, à un mètre de hauteur.*

Page 62, ligne 14, effacez la première *h* du mot *athmosphérique*.
Même page, ligne 18, mettez une *virgule* après *secondes*.
Même page, ligne 19, mettez une *virgule* après *minute*.
Même page, ligne 3 en remontant, au lieu de *Le seconde*, lisez *La seconde*.
Page 63, ligne 9, mettez une *virgule* après *libres*.
Page 64, ligne 6, après *l'air*, au lieu d'un *point*, mettez *un point d'interrogation*.
Même page, ligne 13 en remontant, ajoutez *beaucoup* après *diamètre*.
Page 73, ligne 2, après *négative*, mettez un *point et virgule* au lieu de la *virgule*.
Même page, ligne 3, mettez *une virgule* après *mouvement*.
Même page, ligne 8, mettez *un accent aigu* sur le premier *e* de *aeriforme*.
Page 76, ligne 4, au lieu de *de ce dernier*, lisez *du premier*.
Page 77, ligne 7, ôtez la première *h* du mot *athmosphérique*.
Même page, ligne 9, ôtez *la virgule* après *comparée* et placez-la après *défavorable*.
Même page, ligne 10, mettez des *virgules* après *comparative* et après *robinet*.
Page 80, ligne 3 en remontant, après *il faudroit alors*, mettez *supprimer le clapet, et*.
Même page, ligne dernière, au lieu de *l'atmosphère*, mettez *atmosphérique*.
Page 89, ligne 4, au lieu de *légèrement*, lisez *légérement*.
Page 102, ligne 8, au lieu de *une vibration en sens contraire*, lisez *en sens contraire une vibration*.
Page 107, ligne avant-dernière, au lieu de *faible*, lisez *foible*.

Digitized by Google

SUITE DES FAUTES A CORRIGER.

Page 111, ligne 2, après *navigation*, mettez *une virgule*.
Page 122, ligne 15, mettez *une virgule* après *véritable*.
Même page, ligne dernière de la note, au lieu de *comter*, lisez *compter*.
Page 124, première ligne de la note, mettez *une virgule* après *prescrites*.
Page 127, ligne 7, au lieu de *à la courbe*, lisez *de la courbe*.
Page 132, ligne 7, au lieu de *ce qui tient à ce*, lisez *attendu*.
Même page, ligne 8, effacez la première *virgule* après le mot *changement*.
Page 134, ligne 2 en remontant, au lieu de *extérieure*, lisez *extérieures*.
Page 135, ligne 13, après *fort longs*, mettez *une virgule* à la place *du point et virgule*.
Page 138, ligne 27, au lieu de *parallèlement*, lisez *parallèlement*.
Page 139, ligne 5 en remontant, mettez *une virgule* à la place du *point et virgule*, après *possible*.
Page 104, ligne 3 en remontant, au lieu de ELFMCH, lisez ELFMGH.

ERRATA DE LA TROISIÈME PLANCHE.

Les pieds des siphons étant supposés enlevés, dans cette planche, c'est à tort que dans la fig. 3 on a coupé les trois petits carrés qui représentent l'espace destiné à recevoir ces pieds.

Digitized by Google

MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU MOYEN

D'EMPLIR ET DE VIDER LES ÉCLUSES.

TANT d'habiles gens se sont occupés des écluses de navigation, qu'on semble bien hardi de venir après eux y proposer des innovations. Mais telle est la destinée des arts utiles, que jamais celui qui les invente ne les élève jusqu'à la perfection. Bien plus, lorsque des hommes de génie ont mérité de voir leurs noms écrits à côté de ceux des inventeurs, en créant en quelque sorte de nouveau ces mêmes arts par l'application de procédés inconnus et habilement imaginés; il reste encore aux hommes médiocres, et même aux plus simples ouvriers, une foule d'objets à perfectionner. C'est qu'il n'est pas donné à l'esprit humain de voir une chose sous toutes ses faces et dans tous ses détails; que les arts, destinés à se prêter un mutuel secours, marchent sur des lignes parallèles, sans trop se devancer les uns les autres; et qu'ordinairement celui qui vient à naître, ou à faire un grand pas dans la carrière, n'y rencontre pas les autres assez avancés, pour qu'ils puissent le conduire instantanément à son but particulier. On en trouve encore la raison dans l'enthousiasme qu'inspirent les nouvelles découvertes : comment, en effet, s'apercevoir des vices que présente le travail d'un homme; lorsqu'il vient nous offrir des jouissances ou des avantages auxquels nous ne songions seulement pas? Et s'il s'agit d'un procédé qui change entièrement la face d'un art déjà connu, en faisant disparoître les inconvéniens remarqués jusqu'alors; il n'est pas moins naturel que les légers défauts de la nouvelle mé-

Digitized by Google

thode se trouvent voilés par l'utilité qu'elle nous procure. Mais ensuite, on s'habitue à ce qu'on possède, au point d'oublier le mérite de l'invention. C'est alors que se découvrent toutes les imperfections dont la vue n'avoit point été frappée au premier aspect, et que les moindres praticiens sont appelés à améliorer les détails que les inventeurs avoient dédaignés.

Tel est chez nous le point où est parvenu l'art de la construction des écluses : et nous sommes bien moins frappés de voir un bateau quitter les plaines, pour franchir le seuil élevé qui sépare deux vallées, que des petits inconvéniens plus ou moins inséparables de la grande machine employée pour son ascension. C'est donc le moment où tous les constructeurs peuvent aspirer à rendre quelque service, en proposant les améliorations que l'expérience leur a suggérées. Leurs essais doivent être accueillis avec indulgence : puisque ne pouvant plus prétendre à la célébrité, qui est le partage des seuls inventeurs, l'unique désir d'être utile peut les engager à mettre au jour des idées, dont le développement les expose à une critique plus ou moins amère.

Il a fallu les considérations précédentes, pour me décider à soumettre, à tous les ingénieurs, une méthode que j'avois communiquée à quelques-uns il y a quinze ans; méthode que j'avois abandonnée depuis, et qui, un peu modifiée, me paroît offrir plusieurs avantages pour la manœuvre et pour la conservation des écluses.

Avant d'expliquer le procédé que je propose, pour emplir et pour vider les sas d'écluses, il est nécessaire de passer en revue les moyens employés jusqu'à ce jour; afin de mieux faire ressortir les inconvéniens auxquels je pense remédier.

L'Italie moderne n'est point avare de louange, envers les grands hommes qu'elle a produits dans tous les genres. On l'accuse, au contraire, de la prodiguer à des auteurs et à des artistes restés bien en arrière de ceux qui font la gloire de leur nation. Cependant, les constructeurs peuvent lui faire un reproche tout opposé : s'il est vrai qu'elle ait négligé de faire connoître à la postérité l'inventeur des écluses à sas; dont les premières paroissent avoir été exécutées chez elle à la fin du quinzième siècle (1). Nous ne connoissons même

(1) L'ouvrage de Simon Stévin, composé en 1618, quatorze ans après le commencement

Digitized by Google

aucune description des premières écluses ; ce qui nous prive de pouvoir étudier, dans son enfance, cette partie si importante de l'architecture hydraulique.

Dans l'ignorance où nous nous trouvons à ce sujet, il est permis de supposer que les premières écluses étoient fermées, soit par des poutrelles verticales appuyées à leurs extrémités sur des traverses, dont celle du haut pour le moins étoit amovible ; soit par des poutrelles horizontales qui résistoient à la poussée de l'eau, ou par elles-mêmes, ou bien à l'aide d'aiguilles mobiles, enfoncées d'une part dans le radier et retenues de l'autre par une traverse horizontale. La poutrelle supérieure, qui ne fatigue aucunement, pouvoit également remplacer cette traverse. On voit de nos jours des exemples de ces deux genres de construction, dans la fermeture de plusieurs pertuis ou passelis. Peut-être aussi, chacune des écluses simples qui composent l'écluse à sas se fermoit-elle avec une porte plate, composée d'un seul vantail, dont le châssis à claire-voie s'opposoit ou donnoit à volonté passage à l'eau, par l'effet d'un jeu de vannes ou de poutrelles. On a encore construit des portes à un seul vantail dont la partie supérieure se lève, pour mettre l'eau en équilibre ; après quoi la partie inférieure tourne facilement, et va se ranger dans une enclave, ainsi que les portes à claire-voie. L'usage de ces sortes de fermetures s'est conservé à quelques vieilles écluses de la Flandre et de la Belgique.

Nous ne nous occuperons point de ces machines compliquées, qui avoient toutes, plus ou moins, les inconvéniens de présenter une manœuvre longue et difficile, d'exiger des bois dont les dimensions deviennent tous les jours plus rares, de causer des dégradations considérables aux ouvrages d'art ainsi qu'aux terrasses, et qui en présentoient encore d'autres qu'on paroît avoir sentis dès le principe : puisqu'au premier canal à point de partage qui

---

des travaux du Canal de Briare, sembleroit reculer d'un siècle l'invention des sas d'écluse. Mais il se peut que les ingénieurs hollandois ayent ignoré les travaux exécutés en Italie, et qu'ils ne fassent dater l'époque de la découverte, que du moment de son introduction dans leur pays. Les discussions relatives à des inventions plus modernes, telles que la construction des ponts en fer et celle des écluses à sas mobile, peuvent donner quelque consistance à cette opinion.

Digitized by Google

ait été construit en Europe, au Canal de Briare commencé en 1604 par les ordres de Henri IV, ces fermetures défectueuses sont déjà remplacées par des portes busquées. Nous n'aurons donc à nous occuper que des méthodes employées pour faire passer l'eau, d'un côté à l'autre des portes de cette espèce.

Les eaux du Canal de Briare passent d'un côté à l'autre des écluses simples, en traversant des larrons ou aqueducs ménagés dans l'épaisseur des bajoyers. Celles du bief supérieur entrent par une large ouverture, pratiquée dans un des murs en retour d'amont, laquelle est ouverte ou fermée à volonté, au moyen d'une vanne que fait mouvoir un cric double (1); elles arrivent ensuite dans le sas, par une autre gueule qui débouche à une assez grande distance en aval du mur de chute. Les eaux introduites de cette manière sortent par une gueule semblable, formée dans l'autre bajoyer; traversent un aqueduc, composé comme le précédent de deux branches perpendiculaires; et se rendent dans le bief inférieur, à travers le mur en retour d'aval. La vanne qui ferme ce dernier passage peut s'appliquer en dehors du mur, ou être logée dans son épaisseur.

On doit convenir que ce mode de transmission de l'eau est très-rapide; néanmoins on a cessé de s'en servir sur les canaux plus modernes. Voici quelques-unes des raisons qui l'ont fait rejeter, et qui empêcheront probablement de l'employer à l'avenir; bien que de fort habiles ingénieurs ayent parlé de le remettre en pratique.

1°. Au moment de l'ascension de la vanne d'amont, l'eau se précipite dans l'aqueduc; et la veine fluide venant frapper obliquement, et avec une grande vîtesse, le talus au pied duquel est l'ouverture, elle y cause des affouillemens qui obligent de le perreyer sur une assez grande longueur, et de construire un avant-radier en tête de l'écluse. Mais à moins d'un entretien continuel, ces sortes d'ouvrages défensifs ne tardent pas eux-mêmes à être détruits; et leurs matériaux sont entraînés par le courant, avec une partie des terres qu'ils protégeoient. La dépense de leur reconstruction, et l'obliga-

(1) Sur d'autres canaux, on a aussi employé des vis pour lever ces vannes, ainsi que les ventelles des portes busquées; mais on a reconnu que la manœuvre des crics est plus facile.

Digitized by Google

tion qui en est la suite, de vider le bief supérieur, ne sont pas les seuls inconvéniens qui en résultent. On est souvent forcé de maintenir la navigation pendant un certain temps, avant d'obtenir la faculté de rétablir les ouvrages détruits : cependant les matériaux enlevés restent dans l'aqueduc qu'ils obstruent; ou bien, ce qui est plus fâcheux, ils sont portés dans le sas dont ils diminuent le tirant d'eau, et où ils peuvent enfoncer un bateau, lorsqu'on le fait descendre sans être prévenu de leur présence. Il peut en outre arriver qu'une des pierres démolies se loge sous la vanne ou dans sa rainure, et empêche de la baisser entièrement; ce qui causeroit des pertes d'eau également préjudiciables à l'économie de ce liquide, et à la rapidité des passages.

2°. L'eau qui sort de l'aqueduc d'amont y a acquis une telle rapidité, que son choc contre le radier, et sur-tout contre le bajoyer opposé, en dégrade promptement la maçonnerie. On assure que cet effet est encore sensible, à l'endroit de l'autre bajoyer où le courant vient frapper après s'être réfléchi (1).

3°. La violence des eaux, à la sortie de l'aqueduc d'aval, est encore plus dangereuse qu'à la sortie de celui d'amont; puisqu'elle ne rencontre pas une résistance comparable à celle de la maçonnerie du sas. Elle s'exerce d'abord sur le perré contigu, et sur la partie la plus voisine du plafond. Ensuite, elle est répercutée sur le talus opposé qu'elle va dégrader également; et cet effet se continue d'un talus à l'autre, par plusieurs bricoles, dans la direction desquelles le fond et les côtés du canal se trouvent corrodés, jusqu'au point assez éloigné où la vîtesse du courant est enfin amortie. Le système des larrons oblige donc de construire à l'aval des écluses, sur une grande longueur, des perrés très-bien faits, et des arrière-radiers dont la dépense est considérable. Encore ces ouvrages ne sont-ils que précaires, et bientôt ils sont emportés au milieu des biefs; où leurs débris forment des écueils qui arrêtent les bateaux, et qui compromettent la sureté de ceux qui seroient stationnés au-dessus dans le temps que l'eau viendroit à baisser (2).

---

(1) Ceci doit principalement avoir lieu quand on tient les portes d'aval ouvertes, dans l'intention de donner de l'eau au bief inférieur.

(2) Dans les canaux du Midi, pour empêcher les affouillemens, on a adopté le revêtissement

Digitized by Google

4°. Quelques-uns des corps étrangers, amenés dans le sas par l'aqueduc d'amont, peuvent être entraînés dans celui d'aval : s'ils venoient à s'arrêter sous la vanne ou dans sa coulisse, ils mettroient obstacle à ce qu'on la fermât exactement. On a déjà vu que cela peut également arriver à la vanne supérieure : si cet accident n'a lieu qu'à une des vannes à la fois, il en résulte que le sas perd l'eau pendant qu'on le remplit, ou en reçoit pendant qu'on le vide ; ce qui alonge beaucoup la manœuvre, fait perdre une assez grande quantité d'eau, et oblige à forcer sur les portes pour les ouvrir. Si les deux vannes se trouvoient ensemble dans le même cas : non-seulement la perte de temps seroit double dans chaque passage de bateau ; mais la perte d'eau seroit continuelle. Ces effets sont d'autant plus à craindre qu'il est fort difficile de s'en apercevoir, les seuils des vannes étant tellement noyés, qu'ils sont dérobés à la vue (1).

5°. La construction des larrons oblige à donner une fort grande épaisseur aux bajoyers ; ce qui augmente singulièrement la première dépense, surtout quand les fondations et les épuisemens sont difficiles. De plus, la rapidité de l'eau y cause de fréquentes dégradations, mal-aisées et conséquemment très-chères à réparer. Cet inconvénient l'emporte encore sur le précédent ; soit à cause des interruptions de la navigation, soit par une autre raison qui doit être d'un grand poids dans toutes les constructions publiques : c'est qu'un gouvernement doit toujours tendre à faire des ouvrages solides et qui demandent peu de réparations ; de peur que quelque jour la masse des entretiens ne vienne à égaler les ressources du trésor, et ne fasse renoncer à créer les nouvelles communications que de nouveaux besoins rendroient nécessaires.

On doit ajouter à cela, que si une dégradation survient peu après l'ouverture de la navigation ; elle n'est aperçue qu'au chômage suivant, lorsqu'elle est devenue considérable et qu'elle peut menacer l'existence du bajoyer.

---

en maçonnerie du fond et des bords du canal, sur toute la longueur où l'expérience a appris que cela est nécessaire. Ce parti cause une énorme dépense et des entretiens fort coûteux.

(1) Si les filtrations avoient lieu seulement à la vanne d'amont, et qu'on ne voulût pas fermer les grandes portes de peur de les fatiguer, la perte d'eau seroit encore continuelle.

Digitized by Google

6°. La vanne qui ferme l'aqueduc supérieur est bien située pour résister à la poussée de l'eau. Mais celle de l'aqueduc inférieur, placée au dehors du mur, exige une charpente un peu chère qu'il faut réparer et même reconstruire assez souvent. Si au contraire on établit cette vanne dans l'intérieur de la maçonnerie, elle en augmente la dépense et en rend l'exécution plus difficile; en outre, elle donne lieu à un nouveau genre de réparation fort incommode, celui de la chambre de la vanne.

7°. Les vannages mobiles sont exposés, au bout d'un temps plus ou moins court, à des accidens qui les empêchent de joindre parfaitement contre leurs feuillures, et qui causent des filtrations. Ce défaut se fera principalement remarquer à la vanne de l'aqueduc d'aval: car cette vanne est poussée de dedans en dehors si elle est extérieure; et en la supposant placée dans l'intérieur de la maçonnerie, elle se trouve surmontée par l'eau bien plus que celle d'amont (1). Nous avons vu de quelle conséquence sont ces filtrations, tant par les retards qu'elles apportent au passage des bateaux, que par la perte d'eau qu'elles occasionnent: ici, bien plus encore que dans le cas de l'introduction des corps étrangers, il sera presque impossible de les reconnoître, à moins qu'elles ne soient assez fortes pour donner un courant visible à la surface. Ainsi, on pourra perdre l'eau pendant long-temps, avant de songer à rien faire pour arrêter cette déperdition.

8°. Des faits qui viennent d'être exposés, nous tirerons cette conclusion: que sur un canal comprenant beaucoup d'écluses, on devroit avoir assez souvent à travailler aux vannages et aux aqueducs, dans la saison consacrée à la navigation. On seroit alors obligé d'interrompre le passage, et, pour la réparation d'une vanne, de vider tout au moins le bief auquel elle appartient. Quant aux aqueducs, la même obligation existeroit, et pour celui d'amont, il faudroit en outre presque toujours vider les deux biefs.

On a un peu varié sur la forme des aqueducs ou larrons destinés au jeu des eaux: à ceux que nous avons décrits, quelques ingénieurs ont substitué des aqueducs courbes, dont l'entrée, pour ceux d'amont, et dont la sortie

(1) On pourroit prolonger cette vanne jusqu'au niveau du bief supérieur. Mais elle seroit plus difficile à manœuvrer, et la dépense se trouveroit considérablement augmentée.

Digitized by Google

extérieure au sas, pour ceux d'aval, est pratiquée dans les épaulemens (1). Cette modification peut présenter de l'économie, dans les grandes écluses maritimes où elle a été employée (2); mais dans les écluses de navigation, la longueur des épaulemens n'est jamais assez grande pour qu'il en résulte une diminution sur la longueur des voûtes, dont l'appareil devient seulement plus dispendieux. Cette disposition obligeroit d'ailleurs à prolonger les épaulemens de fuite.

Si l'on examine les vices que nous venons de signaler, on trouvera qu'ils sont tous communs à ce deuxième genre de construction. Sauf, pour l'aqueduc d'amont, que le courant s'établira plus près de l'axe du canal, et que sa partie la plus rapide se trouvera entre les épaulemens de défense, ce qui dégradera moins les terrasses; et pour l'aqueduc d'aval, que son débouché se faisant sur le radier, entre les épaulemens de fuite, il en résultera moins d'avaries à la suite de l'écluse (3). Ces avantages sont en partie compensés par les défauts suivans : 1°. L'eau ayant à parcourir, dans les aqueducs, la moitié au lieu du quart d'une courbe fermée, elle doit exercer sur les parois une plus grande réaction; et conséquemment y causer plus d'avaries. 2°. La construction devient plus difficile, ainsi que les réparations; et la maçonnerie se trouve aussi plus affoiblie par l'effet du second coude ajouté à la première disposition. 3°. La vîtesse que l'eau prend à la sortie de l'aqueduc inférieur, dégrade le radier et le mur opposé, ce qui n'avoit pas lieu primitivement. Cependant on n'est pas totalement dispensé de faire un arrière-radier et des perrés, lesquels sont sujets à des entretiens dispendieux et à des reconstructions fréquentes; attendu que le courant, après avoir frappé l'épaulement, fait encore plusieurs bricoles sur les talus avant de s'amortir (4).

---

(1) Conformément à la dénomination adoptée par M. Gauthey et par d'autres ingénieurs, nous appelons épaulemens de défense les murs en prolongement des bajoyers, lesquels se trouvent entre le busc d'amont et les musoirs ou pans coupés supérieurs. Les épaulemens d'aval ou de fuite sont compris entre le busc d'aval et les musoirs ou pans coupés de la tête inférieure.

(2) Elle y remplit encore un autre objet d'utilité, c'est de procurer une chasse qui débarrasse les portes de flot des alluvions par lesquelles leur mouvement se trouveroit gêné.

(3) Ceci pourroit même être contesté, attendu que la nouvelle direction du courant produit un plus grand nombre de bricoles, et des bricoles plus directes.

(4) Voyez la note qui précède.

Digitized by Google

4°. Enfin, l'alongement des épaulemens de fuite entraîne une augmentation dans la dépense.

On conclura sans doute, de l'examen précédent, que le second système ne présente pas, relativement au premier, des avantages tels, qu'on ait eu tort d'en chercher un troisième pour les remplacer tous deux. Ce troisième système est celui des ventelles pratiquées dans les portes, et auxquelles on communique le mouvement à l'aide de crics composés. Ce mode de transmission des eaux remédie évidemment à un grand nombre des défauts que nous avons signalés, aussi est-il généralement adopté. Nous devons néanmoins faire connoître les imperfections qu'il conserve encore, et celles qui lui sont propres : puisqu'on s'en plaint tous les jours, et qu'elles ont déterminé M. Gauthey à lui substituer une construction toute différente, à laquelle nous hasarderons nous-même de proposer d'assez fortes modifications.

1°. Les ventelles diminuent la solidité des portes ; et sur-tout elles en hâtent la destruction, par les secousses que leurs manœuvres impriment, par le frottement de l'eau contre les assemblages des entretoises et des montans, ainsi que par les filtrations qu'elles occasionnent au bout de quelques années, et souvent plutôt. On doit ajouter que la décomposition des bois est favorisée par l'humidité continuelle, qu'entretiennent ces filtrations sur la face intérieure des portes d'amont. Nous ne connoissons aucune expérience directe, qui puisse servir à évaluer la diminution de durée produite par toutes ces causes : quelques ingénieurs l'estiment au cinquième de la durée totale, d'autres lui donnent une moindre valeur (1).

2°. On reproche aux ventelles d'augmenter beaucoup le prix des portes. Il faut pourtant l'avouer : tous les moyens de communication et de fermeture,

---

(1) Il seroit bien à désirer que l'administration se fît présenter un relevé des dépenses d'entretien et de reconstruction, qu'ont occasionées toutes les espèces d'ouvrages sur le mode de confection desquels il y a des avis différens. Il en résulteroit, pour toute la France, ou du moins pour les provinces qu'on pourroit ranger dans une même classe sous le rapport des prix, des moyennes dont la comparaison serviroit singulièrement à fixer les idées des ingénieurs sur plusieurs objets importans.

En faisant continuer dans le temps à venir les tableaux de cette opération, il seroit bon d'y joindre, pour les ouvrages hydrauliques, le nombre de jours et d'heures pendant lesquels les réparations auroient interrompu la navigation.

Digitized by Google

qui peuvent leur être substitués, font croître la dépense de quelque autre partie de la construction; et l'on a négligé, jusqu'ici, d'établir la différence de ces augmentations par des devis comparés, calculés d'après les relations les plus usuelles entre les valeurs des diverses sortes d'ouvrages. On doit donc apporter la plus grande retenue à faire usage de cette objection d'une manière générale, sous le rapport de la première avance de fonds. Mais si l'on considère que la plupart des portes busquées ne durent que quinze à seize ans, et que l'excédant de dépense, causé par les ventelles, revient perpétuellement au bout de cette période; on donnera, sous ce point de vue, la préférence aux systèmes dans lesquels la première mise dehors seroit seule augmentée (1).

3°. L'eau sort des ventelles avec une telle rapidité, qu'elle use les buscs d'amont et d'aval, lorsqu'ils ne sont pas en pierre très-dure; et ce qui est plus fâcheux, elle en dégarnit les joints. Cela nécessite de grandes réparations assez difficiles à exécuter; et lesquelles peuvent compromettre la solidité de l'écluse, si l'on fait usage de ses portes peu de temps après avoir replacé les claveaux.

L'action de l'eau ne s'arrête point aux buscs. Celle qui sort des portes d'amont tombant presque verticalement sur le radier, elle le dégrade et l'affouille même, de manière à pouvoir entraîner la destruction du mur de chute.

Malgré que sa direction approche beaucoup plus d'être horizontale, le courant n'agit guère moins sur la partie du radier qui est comprise entre les épaulemens d'aval. C'est qu'il a une vîtesse beaucoup plus grande, à cause de la plus grande charge d'eau; qu'en conséquence, il sort à la fois une quantité plus considérable de ce fluide; et qu'une partie de la vîtesse

---

(1) Dans le système des siphons, tels qu'ils ont été construits jusqu'ici, on peut supposer que les moyens de fermeture exigeront des reconstructions au moins aussi fréquentes que dans celui des ventelles. Mais au moyen des modifications que nous proposerons, les reconstructions ne pourront avoir lieu qu'au bout d'un temps qu'on ne sauroit calculer; en sorte qu'il n'y aura à s'occuper que de l'entretien de la machine, lequel ne semble pas devoir coûter plus cher que celui des crics. Ainsi, tous les frais de reconstruction viendront en économie.

Digitized by Google

n'est pas détruite, comme en amont, par le palier que forme le mur de chute (1).

(1) Quelques-uns de nos plus habiles ingénieurs proposent en ce moment de supprimer les murs de chute, et tout au moins de les baisser de façon à noyer les buscs. Nous sera-t-il permis de leur soumettre une objection? c'est que la vîtesse, avec laquelle l'eau frappe le busc d'amont, sera augmentée dans un rapport qui dépend de la quantité dont les ventelles se trouveront baissées; et que l'intensité du choc exercé, tant sur le busc que sur le radier du sas, recevra encore un autre accroissement, à cause de la plus grande quantité d'eau qui sortira du bief supérieur dans les premiers instans. C'est une considération qui mérite peut-être d'être pesée, avec un grand nombre d'autres qu'on a alléguées pour et contre cette innovation. Elle militeroit du moins pour faire rejeter les ventelles, dans le système qu'on veut introduire.

Si le sas de l'écluse n'étoit pas construit en maçonnerie, mais seulement revêtu en perrés, l'accroissement de la vîtesse seroit encore plus dangereux, sur-tout quand les portes d'aval seroient ouvertes.

Nous ne croyons pas, non plus, qu'on ait objecté l'inconvénient de noyer le bas des portes d'amont; d'où résulte l'impossibilité d'apercevoir les filtrations qui se manifestent ordinairement, soit par les ventelles, soit entre les poteaux délardés, soit aux chardonnets, soit enfin entre le busc et les portes. Dans la construction actuelle, on s'en aperçoit de suite; et l'on peut faire les réparations nécessaires. Si l'activité de la navigation s'y oppose : on peut du moins boucher les ouvertures avec de la mousse, dans les intervalles que laissent les passages des bateaux; ce qui devient impossible avec des buscs noyés. On pourroit répondre qu'un semblable inconvénient a lieu aux portes d'aval : mais là il est inévitable, et d'ailleurs bien moindre; puisque ces portes n'ont besoin de garder l'eau que pendant la moitié du temps de la manœuvre, tandis que, excepté pendant ce dernier temps, les portes d'amont doivent toujours s'opposer à son passage.

Une troisième objection que nous n'avons pas entendu faire, c'est qu'il en résulteroit un plus grand choc contre les bateaux. Mais il faut avouer que ce défaut est compensé par l'avantage de moins risquer d'y faire entrer l'eau.

Nous nous hasarderons encore à faire remarquer que les réparations des portes d'amont, lorsque ces portes ne sont pas noyées par-derrière, exigent seulement de faire écouler les eaux du bief supérieur, ou de faire un batardeau entre les épaulemens de défense. Mais, dans le cas contraire, il faut vider en outre une partie du bief inférieur; ou bien faire un batardeau entre les épaulemens de fuite, et épuiser dans l'écluse.

Au reste, nous n'avons point la prétention de traiter complétement cette matière : nous avons seulement voulu présenter quelques argumens, qui ont été omis dans la discussion lumineuse dont nous avons été témoin à ce sujet.

Dans cette discussion, on a insisté avec force sur l'augmentation de dépense que causeroit l'alongement des portes, chaque fois qu'il faudroit les reconstruire, et sur la diminution de leur durée. On auroit pu ajouter une nouvelle cause de cette diminution. C'est que les mariniers, qui font attention à ne point choquer le mur de chute, parce qu'il est plus dur que leurs bateaux, ne prendront plus autant de précautions et frapperont toujours sur les portes. Cette action répétée, sur-tout de la part des bâtimens qui finissent en pointe, ne contribuera pas seulement à hâter la destruction des portes; elle ne tardera guère à les faire se déjeter, ce qui les empêchera de joindre et de garder l'eau.

Digitized by Google

4°. La direction des ventelles, oblique à l'axe du sas et du canal, porte le courant sur les bajoyers ainsi que sur les épaulemens de fuite; ce qui donne lieu à des dégradations. Ce défaut se fait particulièrement sentir, quand on n'ouvre qu'une ventelle à la fois; mais alors même qu'on les leveroit toutes deux ensemble, il est bien difficile de le faire assez également, pour que la résultante des deux impulsions dirige le courant au milieu des ouvrages.

C'est principalement à la sortie des portes d'aval, que cette direction oblique cause le plus de dommages. Le courant, après avoir frappé l'épaulement, se réfléchit et va dégrader le fond et les bords du canal, de la même manière que nous avons expliquée en parlant des larrons. Il est vrai que l'effet est moindre: mais il n'est pas tellement atténué qu'on ne soit obligé de revêtir les talus, et de faire un arrière-radier qu'il faut ensuite réparer assez fréquemment, ainsi que les perrés (1).

5°. Les ventelles étant toujours plongées dans l'eau, on ne peut les réparer sans interrompre la navigation. Il faut mettre à sec le bief auquel elles appartiennent; ou bien on est forcé de faire un batardeau, et en outre d'épuiser le sas pour travailler aux ventelles d'aval, ou de vider l'intervalle entre les épaulemens de défense, s'il s'agit de celles d'amont.

L'un et l'autre devient nécessaire pour la réparation des ventelles supérieures, dans les écluses où le bas des portes d'amont se trouve noyé (2).

Au reste, nous devons faire observer que le système des larrons ne laissoit même pas le choix, de vider les biefs ou d'épuiser l'intérieur des écluses; attendu que les vannes se trouvant à l'extrémité de la maçonnerie, il ne pouvoit pas y avoir au delà les coulisses à poutrelles qu'on a imaginé de pratiquer dans les écluses plus modernes. On n'auroit donc pu établir de batardeaux que dans les biefs, ce qui coûte beaucoup, tant pour les construire

---

(1) Nous avons omis de dire plus haut que les perrés ont un grand défaut dans toutes les parties d'un canal. C'est de masquer les filtrations, quand il s'en trouve à l'endroit où ils sont construits.

(2) Le busc d'amont peut se trouver noyé par deux causes différentes: ou par l'adoption du système dont il a été fait mention dans l'avant-dernière note; ou parce que la hauteur d'eau, fixée pour la navigation, seroit plus grande que la différence de niveau des deux biefs séparés par l'écluse.

Digitized by Google

que pour les draguer, et ce qui fait courir le risque d'entamer les corrois.

6°. Aux portes d'aval, les ventelles ont un défaut déjà signalé dans les vannes des aqueducs courbes ou larrons : c'est qu'on ne peut s'apercevoir des filtrations qu'elles permettent, et qu'on laisse ainsi subsister à défaut de les connoître.

7°. Au moment de l'ouverture des ventelles d'amont, le bateau renfermé dans le sas reçoit subitement le choc de la masse d'eau qui se précipite; ce qui produit une secousse, dont le renouvellement, au passage de chaque écluse, doit hâter la destruction des bâtimens.

8°. Ce choc oblige d'amarrer le bateau, pour l'empêcher de reculer sur les portes d'aval. Mais l'amarrage est toujours lâche; attendu qu'on ne peut faire joindre la proue au mur de chute, par la raison que nous dirons tout à l'heure, et aussi parce que le bateau monte à chaque instant. Il en résulte que les cordes se tendent au moment du choc, et que le bâtiment éprouve toujours un recul plus ou moins grand, augmenté encore quelquefois par la faute des mariniers. Pour éviter que les portes ne soient frappées, il faut donc laisser un espace assez considérable entre l'arrière du bateau et le busc d'aval. Malgré cette précaution, la mal-adresse ou la négligence des bateliers, et le mauvais état de leurs cordages, occasionnent souvent des heurts contre les poteaux busqués.

Dans la manœuvre descendante, cet inconvénient n'a pas lieu : vu qu'on peut s'amarrer de manière à toucher le mur de chute. Les cordes se trouvent donc tendues, et le bateau n'a pas tant à reculer. Le choc qu'il reçoit de l'ouverture des ventelles d'aval est d'ailleurs moins considérable : la vîtesse que l'eau prend, dans le vide des ventelles, se distribuant sur toute la masse du fluide contenu dans l'écluse. Ainsi, le jeu nécessaire à l'ouverture des portes suffit à les préserver d'accident, pour peu qu'on y mette de soin.

9°. L'amplitude de la nappe d'eau, à la sortie des ventelles d'amont, contraint à laisser une distance assez grande entre le mur de chute et la proue du bateau; sans quoi celui-ci courroit risque d'être submergé. Cet intervalle, joint à celui qu'il faut ménager en arrière pour le recul, oblige à donner plus de longueur au sas, et conséquemment nécessite une assez grande aug-

Digitized by Google

mentation de la dépense primitive, ainsi que des réparations et entretiens subséquens.

L'alongement du sas augmente aussi la dépense d'eau des éclusées, le temps de la manœuvre, et par cette raison la durée des filtrations des portes d'aval, lorsqu'il se fait des pertes par cet endroit.

10°. L'économie d'eau et d'argent ne permettent pas, néanmoins, de laisser trop d'espace entre la proue et le mur de chute : il suit de là, que des portions d'eau rejaillissent du busc dans les bateaux, ce qui peut entraver le transport des marchandises auxquelles l'humidité est nuisible.

11°. La construction des ventelles produit quelque augmentation de dépense dans la maçonnerie, relativement aux enclaves particulières dans lesquelles il faut que chacune d'elles se logent; ce qui donne un peu plus de développement et de sujétion dans la taille des surfaces. En outre, les pierres d'angle se trouvant ainsi entaillées de quinze à vingt centimètres, on est obligé de leur donner plus de queue, pour que l'appareil prescrit soit conservé dans toutes les parties.

Cette objection est de peu de conséquence, et on ne la rapporteroit point si elle n'avoit pas été faite par plusieurs ingénieurs. Mais il est vrai de dire que les enclaves des ventelles font un effet fort désagréable à la vue.

Ces défauts, et peut-être d'autres encore, devoient avoir frappé depuis long-temps tous les ingénieurs; lorsque M. Gauthey eut l'idée heureuse de remédier à ceux qui proviennent de la rapidité et de la mauvaise direction de l'eau, par le moyen de siphons qui la feroient jaillir verticalement à travers le fond du radier. Il pensoit avec raison, que ce fluide perdroit toute sa vîtesse acquise, en venant faire un bouillon à la surface; et qu'il ne prendroit latéralement, que la vîtesse résultant de l'élévation du bouillon au-dessus de l'eau environnante.

Pour appliquer cette théorie, dans chaque épaulement de défense, et derrière la porte, M. Gauthey pratique un renfoncement. Il le pave au niveau du radier avec une grande pierre plate, percée d'un trou circulaire qui sert de base à un tuyau vertical; lequel se courbe, passe assez profondément dans la fondation, s'y recourbe de nouveau pour redevenir vertical, et pour donner sortie à l'eau au milieu d'une voûte pratiquée sous le busc.

Digitized by Google

Enfin, M. Gauthey ferme à volonté la communication, avec un tampon ou piston conique qu'il laisse tomber dans l'ouverture supérieure, à laquelle il a donné la même forme. Un lévier placé sur le haut du mur devoit servir à manœuvrer ce piston, à l'aide d'une simple tringle de communication.

L'auteur de cette importante découverte emploie un procédé semblable pour vider le sas. Seulement, au lieu de faire sortir l'eau à travers le radier, et sous le busc inférieur; il lui donne issue par un renfoncement pratiqué dans l'épaulement de fuite : de sorte que les tuyaux d'aval se recourbent dans un sens perpendiculaire à celui des siphons supérieurs, et ne sortent point de la direction parallèle aux bajoyers. La fermeture s'effectue également par l'abaissement d'un piston conique. Du reste, à l'amont comme à l'aval, les tuyaux ou siphons sont exécutés en pierre de taille.

Cette première esquisse a reçu plusieurs modifications avantageuses que nous allons exposer.

L'expérience ayant bientôt fait connoître, à l'habile inventeur, la difficulté de lever ses tampons (1) : il y a substitué un mode de fermeture extrê-

---

(1) N'est-ce point l'effet d'une de ces légères fautes d'attention, presque inséparables de la composition d'un grand travail, qui a fait écrire à M. Gauthey (tome III, page 291), que la raréfaction de l'air, produite par le rabais du bief inférieur, étoit cause de la difficulté qu'on éprouvoit à lever les tampons?

Dans quelque état que soit le bief inférieur, au moment où l'on intercepte la communication, il ne se trouve que de l'eau dans le siphon : et si, au bout d'un certain temps de repos, il se dégage de l'air dans les tuyaux; c'est un accident auquel il ne faut point avoir égard, et qui facilite au contraire l'ascension du piston, en diminuant la hauteur de la colonne d'eau soulevée. On doit donc supposer les tuyaux pleins d'eau, ce qui est le cas le plus habituel. Cela posé, la pression exercée sur la surface supérieure du tampon d'amont est équivalente au poids d'une colonne d'eau qui auroit pour base cette surface, et pour dimension verticale la hauteur d'eau qui fait équilibre à l'atmosphère, augmentée de la hauteur du liquide au-dessus de la partie supérieure du tampon. La pression exercée en sens contraire, sur la surface inférieure, est équivalente au poids d'une colonne d'eau qui auroit pour base cette dernière surface, et pour hauteur celle de la colonne d'eau qui fait équilibre à l'atmosphère, diminuée de la dépression verticale du niveau du bief d'aval au-dessous de la face inférieure du tampon. La différence de ces forces, ou la pression éprouvée par le piston, supposé étanche, est donc égale au poids d'une colonne d'eau qui auroit pour base la surface supérieure du tampon, et pour hauteur l'élévation du niveau du bief supérieur au-dessus de cette surface; augmenté du poids d'une autre colonne d'eau ayant pour base la surface inférieure du tampon, et pour hauteur l'élévation de cette surface au-dessus du niveau du bief inférieur; et encore augmenté du poids

Digitized by Google

mement ingénieux, qu'il applique toujours au renfoncement supérieur de chaque siphon. C'est un secteur de cylindre qui s'appuie sur une feuillure circulaire d'un rayon égal au sien. Le secteur est intérieur à la feuillure, de façon que l'eau le pousse en dedans, au lieu de le faire appuyer sur cette pièce comme dans les vannes ordinaires. Par ce moyen, la pression de l'eau n'influe aucunement sur le frottement ni sur l'adhérence des surfaces : elle s'y oppose au contraire. Le secteur a la faculté de tourner autour d'un axe horizontal ; et il reçoit le mouvement par l'intermédiaire d'une tige verticale appliquée à un lévier, dont le point d'appui est établi au-dessus du bajoyer. Cet axe, parallèle à celui du cylindre, a été placé entre le centre et la circonférence de la base du secteur, afin de se procurer deux avantages : Le premier est que tous les points du secteur décrivent des arcs de cercle qui les éloignent de la feuillure, ce qui contribue à rendre le frottement insensible. Le deuxième est la conséquence de ce que les surfaces, qui doivent se coller l'une contre l'autre pour empêcher les filtrations, présentent, un moment avant la fermeture, un vide de la forme d'un coin fort mince : disposition qui permet, en appuyant sur le lévier, de faire serrer fortement la surface qui est mobile sur celle qui ne l'est pas; ce qui remédie

---

d'une colonne d'eau dont la hauteur équilibreroit à l'atmosphère, et dont la base seroit la différence des deux faces horizontales du piston. En ajoutant à cette pression le poids du tampon et de ses agrès (diminué du poids de l'eau que ceux-ci déplacent), ajoutant encore le frottement qui doit être peu de chose à cause de la forme conique, et l'adhérence qui doit être plus considérable; on aura l'effort nécessaire pour faire équilibre aux résistances.

D'après les dimensions adoptées par M. Gauthey, cet effort ne peut pas être au-dessous de 900 kilogrammes pour une chute de deux mètres. Cela explique l'impossibilité de faire lever le tampon par un seul homme, à moins d'employer une machine. Il étoit donc pour le moins inutile de faire entrer la raréfaction de l'air dans cette explication.

Pour le tampon d'aval, il n'y a rien à changer à l'expression de la résistance; on voit seulement qu'il faut prendre négativement la distance de la face inférieure au niveau de l'eau du second bief. Et comme les pressions contraires exercées sur les deux faces reçoivent des augmentations proportionnelles aux surfaces, il est clair que le tampon d'aval seroit encore plus difficile à lever que celui d'amont.

Il est juste de dire que si la tige étoit creuse, au siphon d'amont, on retrancheroit de la résistance le poids de la colonne d'eau aspirée par le piston. De même, l'eau qui s'introduiroit entre les deux surfaces coniques, soit au tampon d'amont, soit à celui d'aval, diminueroit un peu la partie de la pression relative à la différence des diamètres des deux bases.

Digitized by Google

jusqu'à un certain point à l'usure des bois, laquelle empêche ordinairement les autres vannes de se bien joindre avec leurs montans. Ce défaut se feroit d'autant plus sentir ici, que la pression de l'eau tend à s'opposer au rapprochement des surfaces (1).

Au Canal du centre, M. Gauthey a construit ses siphons de la manière que nous venons de décrire; c'est-à-dire qu'il a fait déboucher ceux d'amont sous le busc. Mais tous les ingénieurs paroissent d'accord pour rejeter une disposition, qui rend très-difficile la construction du mur de chute (2), et en diminue la solidité. On reproche encore à cette méthode qu'elle interrompt la liaison des maçonneries; et principalement, que la violence avec laquelle l'eau frappe les voûtes pratiquées dans le mur de chute, nécessite dans cette partie de fréquentes réparations et reconstructions qui ne peuvent se faire qu'à grands frais, et qui suspendent la navigation pendant un temps beaucoup trop long (3).

On pourroit ajouter à ces reproches, que l'eau se trouvant arrêtée par la surface de la voûte, elle réagit horizontalement et ne perd pas entièrement le mouvement qu'elle a acquis. Elle doit donc encore tourmenter les bajoyers, le radier, et le bateau renfermé dans le sas.

M. Gauthey avoit entrevu quelques-uns de ces défauts : car, il parle lui-même des avantages qu'on trouveroit à faire sortir les eaux sous le bajoyer, comme aux siphons d'aval. Ce parti a été suivi au Canal de Saint-Quentin,

---

(1) Les clapets du Canal de Saint-Quentin sont exécutés d'après ce dernier système, qu'on a encore un peu perfectionné. Nous avons eu occasion de nous assurer, pendant plusieurs années, qu'ils gardoient bien l'eau. On les lève avec une singulière facilité, et il faut même modérer leur mouvement, sans quoi on fait jaillir le liquide en grande masse, et à plusieurs pieds de hauteur, par les cheminées des tiges.

Nous avons cru inutile de dire que le secteur et sa feuillure sont exécutés en bois, ainsi que la charpente qui relie le premier avec son axe. Il seroit plus avantageux, sous plusieurs rapports, de faire cette charpente en fer, et de laisser seulement en bois les surfaces de contact: les réparations en deviendroient moins fréquentes, mais la manœuvre seroit un peu plus pénible.

(2) La difficulté de la construction ne tient pas tant à la forme de la voûte, qu'aux filtrations qu'il faut empêcher entre ses claveaux.

(3) Il paroîtroit même bien imprudent de rétablir la navigation aussitôt qu'on auroit replacé les voussoirs, et sans laisser aux mortiers le temps de prendre du corps.

Digitized by Google

construit postérieurement au Canal du centre. Les siphons d'amont et ceux d'aval s'y déchargent également sous les bajoyers, et au niveau du busc inférieur. Cette construction est bien préférable; mais nous pensons qu'on pourroit encore y faire un reproche : c'est que les renfoncemens de sortie ont trop peu d'élévation. Ces espèces de chambres devroient être continuées jusqu'à la surface des eaux supérieures, pour les siphons d'amont; afin que le bouillonnement de l'eau pût s'amortir de lui-même. Faute de cela, l'eau réagit encore horizontalement avec une assez grande force.

Par un semblable motif, il faudroit donner, aux renfoncemens des siphons d'aval, de cinquante à soixante centimètres de hauteur au-dessus du niveau des eaux du bief inférieur. On gagneroit en outre à cette disposition, tant pour les siphons d'amont que pour ceux d'aval, de rendre nulles les dégradations produites par le choc de l'eau contre la face supérieure du renfoncement, et de diminuer celles des faces latérales.

Telles sont les améliorations apportées au système des siphons. C'est dans cet état que nous devons l'opposer à celui des ventelles, pour en faire connoître les avantages et les défauts comparatifs, et pour découvrir les perfectionnemens dont il est encore susceptible.

La première objection que nous avons présentée contre les ventelles, est relative à la diminution de solidité et de durée qui en résulte pour les portes. Elle se trouve donc résolue par la construction des siphons.

La seconde objection a été présentée comme peu importante : la dépense première devant être à peu près égale, pour l'établissement des clapets et pour celui des ventelles. Mais quelque bonnes que soient celles-ci, il faut les refaire quand on reconstruit les portes; tandis que les clapets sont indépendans, et n'ont besoin d'être rétablis que dans le cas où quelques-unes de leurs pièces se trouvent usées.

Nous avons dit, dans une note, que relativement à la dépense, la reconstruction des moyens de fermeture ne semble pas différer beaucoup dans les deux systèmes; mais les clapets s'ouvrant avec un simple lévier, il n'est pas douteux que l'entretien de cette machine coûte moins cher, que celui des crics ou des vis des ventelles.

Digitized by Google

Les siphons (1) présentent un immense avantage, sous les rapports discutés dans les troisième et quatrième articles. Les dégradations du mur de chute, celles des buscs et de la partie du radier qui en est la plus voisine, ne sont plus provoquées par la transmission de l'eau. Les effets des courans obliques, sur la maçonnerie du sas et des épaulemens de fuite, ainsi que sur les talus d'aval, se trouvent déjà presque détruits dans la construction adoptée au Canal de Saint-Quentin; et il paroît démontré qu'ils diminueroient encore, en adoptant l'élévation que nous avons proposé de donner aux renfoncemens. Alors, sur-tout, on pourroit faire l'économie considérable des avant et des arrière-radiers, des perrés, et de l'entretien des uns et des autres.

Le cinquième reproche adressé aux ventelles peut l'être également aux clapets qui ferment les siphons; il faut de même, pour y travailler, interrompre le passage des bateaux, mettre à sec au moins un bief, ou bien faire un batardeau et vider l'eau, soit du sas, soit de la chambre supérieure, selon la fermeture qu'on répare. Mais si l'on en juge par le Canal de Saint-Quentin, les réparations des clapets ne sont pas fréquentes : car, en trois ou quatre ans, il ne s'en est trouvé qu'un seul, sur dix-sept écluses, qu'on ait été obligé de condamner jusqu'au chômage.

On peut, il est vrai, répondre à cela, que toutes ces machines étoient neuves, et faites à la même époque; tandis que sur un canal un peu ancien, il se trouveroit à la fois des clapets qui auroient différens ages de construction, et l'on devroit craindre qu'il n'y en eût chaque année quelques-uns à réparer. Nous sentons parfaitement cette objection, et elle est du nombre de celles qui nous ont décidé à proposer un nouveau mode de transmission de l'eau. Mais nous désirons seulement établir que sous ce rapport les ventelles ne l'emportent point sur les clapets.

La sixième objection subsiste contre les clapets, et avec plus de force que contre les ventelles : puisque ce n'est pas uniquement en aval qu'on ne peut apercevoir les filtrations; mais que les fermetures d'amont sont pareil-

(1) Nous prions de remarquer que dans tout ce qui suit, nous supposons toujours les siphons construits selon le mode employé au Canal de Saint-Quentin, et non pas comme au Canal du centre. Nous supposons aussi qu'on ait adopté le perfectionnement que nous avons proposé plus haut.

Digitized by Google

lement noyées. Cet inconvénient est d'autant plus grave, que les pertes d'eau sont bien plus fâcheuses à la tête d'amont. Cependant, il ne balanceroit pas les autres avantages que nous venons d'exposer.

Les septième, huitième, neuvième et dixième objections, sont relatives à l'ébranlement que reçoivent les bateaux par la levée des vannes; et à l'augmentation de longueur qu'il faut donner au sas, tant pour empêcher l'eau d'entrer dans les bâtimens, que pour qu'ils puissent reculer sans heurter les portes d'aval : augmentation qui n'empêche pas toujours l'un et l'autre effet. On ne peut révoquer en doute que l'ébranlement est moins fort, de la part de l'eau qui sort des clapets; puisque le choc est moins direct, que la vîtesse acquise par le fluide s'amortit en partie d'elle-même, et qu'une partie de l'action s'exerce sous le fond du bateau. Quant à l'excédant de longueur à donner au sas, les siphons permettent de le faire disparoître. En effet, la portion du choc qui subsiste encore ne se fait pas sentir dans la direction de l'axe de l'écluse; et le bateau ne tend guère à descendre, qu'en vertu de la pente de l'eau causée par l'ouverture des clapets d'amont ou d'aval. On peut d'ailleurs amarrer aussi près qu'on veut du mur de chute, n'ayant plus à craindre l'eau de la cascade produite par l'ouverture des ventelles.

La onzième objection disparoît entièrement, puisqu'elle n'a d'autre objet que l'enclave nécessaire pour loger les ventelles. Mais la construction des renfoncemens des siphons peut être regardée comme une dépense équivalente et même plus forte. Seulement, ces renfoncemens ne font pas l'effet désagréable des chambres des ventelles, lesquelles peuvent d'ailleurs occasioner des accidens à ceux qui marchent sur la plate-forme des bajoyers.

Nous avons exposé les avantages que les siphons ont sur les ventelles, sans dissimuler les défauts qui sont communs à ces deux genres de construction. Nous devons maintenant parler des inconvéniens qui leur sont propres.

1°. Le premier résulte de la perfection même des clapets, qui s'ouvrent sans effort par un seul coup de lévier; en sorte que l'eau acquiert en un instant toute la vîtesse dont elle est susceptible, et au moment où la différence de niveau est la plus grande. Si les renfoncemens de sortie des siphons

Digitized by Google

n'ont pas assez de hauteur; l'eau réagit et frappe brusquement le bateau qui est dans le sas, ou dont la proue est entre les épaulemens de fuite; et elle lui fait éprouver, contre le mur opposé, un choc dont la réitération finit par dégrader l'un et l'autre. C'est principalement pour diminuer beaucoup ce choc, que nous avons proposé d'exhausser les renfoncemens; mais on ne peut se dissimuler que la différence de niveau, due à l'élévation du bouillon au-dessus de l'eau inférieure, et la communication latérale du mouvement (1), en laisseront toujours subsister une partie.

2°. Nous avons dit que l'eau acquiert un mouvement si rapide, au moment du coup de lévier, qu'il en sort quelquefois un jet considérable par la cheminée. L'action brusque que cela suppose sur les parois de la maçonnerie, sur la vanne dormante (2) et sur la charpente du clapet, doit contribuer à détruire plus promptement toutes ces parties.

3°. La construction des siphons est dispendieuse. Elle demande beaucoup de sujétion et une surveillance continuelle; afin que l'eau, qui doit y passer sous une forte charge et avec une grande rapidité, ne dégrade pas les joints et ne s'insinue pas ensuite dans tout le corps de maçonnerie, dont elle finiroit par amener la destruction. Cette surveillance est fort difficile à obtenir; quant à l'augmentation de la première dépense, bien que très-considérable, elle est peu de chose, auprès de la difficulté des réparations et des reconstructions.

En effet, quelque dureté que puisse avoir la pierre dans laquelle sont creusées les trois branches de chaque siphon; quelle que soit la qualité des mortiers; il est impossible que l'eau ne cause pas des dégradations au bout d'un certain nombre d'années, et il est presque aussi impossible de les apercevoir. Enfin, on les connoîtroit, qu'on ne voit pas trop comment on

---

(1) Par communication latérale du mouvement, nous entendons simplement l'effet reconnu de l'épanouissement du jet, sans entrer dans aucune espèce de théorie.

(2) Le mouvement du clapet exige que le renfoncement d'amont ait une plus grande hauteur que celle qui est fermée par le contact du secteur avec sa feuillure, et cet excédant de hauteur est bouché par un châssis fixe garni de planches. C'est ce que nous appelons ici vanne dormante.

Digitized by Google

feroit pour les réparer, dans un espace aussi étroit. On peut donc assurer que les dégradations ne seront aperçues, ou du moins qu'on ne se décidera à les arrêter, que lorsqu'il sera survenu de graves accidens par l'effet des filtrations des eaux supérieures. Alors, il faudra faire ce qui seroit pareillement nécessaire pour de moindres réparations : il faudra, disons-nous, démonter le bajoyer et l'épaulement sur une assez grande longueur, démolir le busc ou le mur de chute, et aussi le radier environnant, le tout jusqu'à la profondeur de la branche horizontale du siphon. Enfin, si l'on craint que l'eau ne se soit pratiqué des issues dans la paroi inférieure de ladite branche, on sera obligé de l'enlever; et dans le cas où cette crainte se trouveroit fondée, il est probable que toute la maçonnerie inférieure seroit délavée, et qu'il faudroit la détruire jusqu'aux fondations.

Un semblable travail doit être long, et coûter beaucoup. En supposant qu'il ne fallût le faire que tous les demi-siècles à chaque siphon, et rien ne prouve qu'il ne le faille pas plus souvent, on trouvera probablement la raison qui depuis plusieurs années a empêché tous les ingénieurs de proposer ce mode de construction; malgré les grands avantages qu'on ne peut lui refuser. Il faut encore ajouter, en cas de reconstruction des siphons et des parties environnantes, tous les accidens que peut occasioner le défaut de liaison de la vieille avec la nouvelle maçonnerie, précisément dans les endroits qui fatiguent le plus, et où les filtrations sont le plus à craindre.

M. Gauthey avait prévu cette objection, la plus forte qu'on puisse présenter; car il avoit donné l'idée de faire en fonte les tuyaux de conduite. Cependant, ni lui, ni personne à notre connoissance, n'en a exécuté de la sorte : voici les raisons qui doivent avoir empêché de tenter cet essai.

Si les tuyaux de fonte étoient enfermés dans une enveloppe en pierre de taille, il seroit impossible de les ajuster avec la pierre, de manière qu'il ne passât point d'eau entre eux et l'enveloppe; et cette eau, qui prendroit une vîtesse due à la différence des niveaux toutes les fois que les clapets seroient ouverts, ne tarderoit pas à enlever tout le mortier qu'on auroit mis autour de la fonte : de sorte qu'il s'établiroit, entre celle-ci et la maçonnerie, un écoulement qui dégraderoit aussi bien que si l'on n'avoit point placé de

Digitized by Google

tuyaux (1). Une fois le passage rendu libre, le fond de la maçonnerie seroit pressé comme dans les constructions actuelles : c'est-à-dire que la pression habituelle seroit celle d'une colonne d'eau ayant pour hauteur la dépression de ce fond au-dessous du niveau du second bief; qu'au moment où l'on ouvriroit les clapets d'aval, le fond de la maçonnerie des siphons inférieurs supporteroit une colonne d'eau égale à sa dépression au-dessous du niveau du bief d'amont; et que la même colonne d'eau peseroit sur la maçonnerie de la branche horizontale des siphons supérieurs, tout le temps que le sas seroit plein (2). Bien plus, dans le cas où il s'établiroit dans la maçonnerie une communication de l'extérieur des siphons d'aval avec le sas, ou de l'extérieur des siphons d'amont avec le bief supérieur : la pression seroit continuellement à son maximum pour ceux-ci; et elle seroit la même pour les premiers, toutes les fois que le sas seroit plein. C'est ce qui n'a point lieu dans les siphons actuels, où l'eau des filtrations coule sans obstacle autour des parois d'un tuyau incomparablement plus grand qu'elles. On voit par là qu'il y auroit ici une probabilité plus grande de l'établissement des filtrations, au travers de la maçonnerie de moellon qui porte et entoure la pierre de taille; filtrations qui seroient animées d'une vîtesse considérable, et qui finiroient par détruire la maçonnerie comme s'il n'y avoit point de tuyaux de fonte. Les tuyaux ne seroient donc qu'un surcroît inutile de dépense.

Au lieu de faire des chemises en pierre de taille, si l'on maçonnoit en moellon autour des siphons; il n'est point douteux qu'à l'aide du mortier, on trouveroit moins de difficulté à empêcher les filtrations entre la maçonnerie et la fonte. Néanmoins, il seroit encore bien difficile de lier parfaitement ensemble des matériaux dont les espèces sont aussi différentes, et

---

(1) Si une communication s'établissoit, par les joints de la maçonnerie, entre le bief supérieur et le vide laissé autour des siphons d'amont, l'écoulement auroit lieu continuellement et avec la vîtesse due à la différence des niveaux.

La communication pourroit également s'établir du sas à l'espace compris entre les siphons d'aval et leurs enveloppes; alors l'écoulement seroit encore dû à la différence des niveaux, non-seulement quand on ouvriroit les clapets, mais aussi toutes les fois que le bief seroit plein.

(2) Dans les écluses ordinaires, la pression habituelle seroit d'environ $4^{mè}$, 00, et le maximum de plus de $6_{mè}$, 00.

Digitized by Google

dont une seule est sujette au tassement. D'ailleurs, la matière des siphons étant susceptible de mouvemens marqués de dilatation et de contraction, par l'effet des variations de la température; il pourroit survenir, à une époque plus ou moins rapprochée, un défaut complet d'adhérence des mortiers avec les tuyaux. Or, du moment que la moindre filtration se seroit établie dans une masse de moellonnage, les dégradations prendroient une marche bien plus rapide que dans le premier cas. On pense donc que l'établissement des tuyaux en fonte ne seroit point un remède suffisant, pour détruire le vice qui a été signalé au commencement de cet article.

4°. Nous n'avons considéré la dépense, que sous le rapport de la construction des siphons, et des reconstructions qui doivent être la suite du mouvement et de la pression de l'eau. Mais il faut ajouter que l'introduction d'une masse liquide, fortement pressée (1), à une grande profondeur dans la fondation des bajoyers, fait naître l'obligation de descendre cette fondation beaucoup plus bas; et qu'elle oblige d'y donner une épaisseur bien plus forte, sur plusieurs mètres de longueur : tant à cause de la disjonction des maçonneries, que pour résister à la pression de l'eau et en empêcher les filtrations. Il résulte de là un accroissement considérable de la première dépense, principalement quand les fondations sont difficiles.

Ces surcroîts de dimensions augmentent encore beaucoup les frais subséquens, dans les cas de reconstruction qui font la matière de l'article précédent.

5°. Les dégradations sont bien plus à craindre, aux joints qui sont dans la direction du courant, qu'à ceux qui lui sont perpendiculaires. C'est par ce motif qu'on cherche à se procurer des matériaux d'une telle dimension, que chaque assise ou gargouille (2) soit d'une seule pièce. Cette condition

---

(1) Aux écluses du Bief de partage du Canal de Saint-Quentin, la hauteur d'eau ne doit pas être moindre de six mètres sur le fond de la branche horizontale des siphons. Si l'on ajoute à la pression de l'eau l'action produite par sa vîtesse, on sera convaincu qu'il faut une grande épaisseur de bonne maçonnerie, au-dessous de cette branche, pour prévenir entièrement les filtrations.

(2) Nous appelons particulièrement gargouilles les pierres qui forment le tuyau horizontal, et auxquelles on ne peut donner le nom d'assises, parce qu'elles sont en délit.

Digitized by Google

accroît encore la dépense, et ne peut pas toujours être remplie, sur-tout dans les coudes. Mais en supposant qu'elle le soit, ce qui est bien à désirer, les dimensions obligées des pierres sont assez grandes, pour qu'on ne puisse guère en trouver qui fassent une saillie marquée sur les plus petites. Cette circonstance, jointe à la différence des tassemens du moellonnage et de la maçonnerie en pierre de taille, occasionne nécessairement un défaut total de liaison entre les pierres des siphons et le reste de la maçonnerie, dans l'endroit où cette liaison seroit le plus nécessaire pour s'opposer aux filtrations de l'eau et à l'effort des portes.

6°. La forme des siphons les rend susceptibles d'engorgement, si quelques corps plus pesans que l'eau s'y trouvoient entraînés. Cet accident semble plus particulier aux canaux dont les eaux ont une pente habituelle; mais il peut néanmoins arriver à tous les autres. Dans ce cas, il seroit bien difficile de décombrer les siphons : Des enfans auroient seuls la faculté de pénétrer dans les tuyaux, et ce n'est même qu'avec beaucoup de peine qu'ils entreroient dans la branche horizontale. D'ailleurs ils ne pourroient y travailler que dans l'obscurité, et couchés dans une position fort incommode. Il est donc douteux s'ils auroient la force et l'adresse nécessaire pour faire le travail, en supposant que des pierres et quelques morceaux de bois, ou de métal, se trouvassent liés fortement ensemble par leur position. Une considération d'un ordre plus élevé : c'est qu'on n'oseroit peut-être pas laisser un enfant se risquer dans un lieu où il seroit impossible de lui porter secours, et duquel on n'auroit aucun moyen de le tirer en cas d'accident (1).

(1) J'ai vu, une seule fois, curer un aqueduc très-long, et dont la coupe étoit si basse et si étroite, qu'un enfant ne pouvoit s'y introduire qu'en rampant. Il poussoit devant lui un petit chariot qu'il avoit beaucoup de peine à remplir de vase, et avec lequel il sortoit ensuite. Si la fatigue ou quelque exhalaison maligne avoit causé une foiblesse à cet enfant, on n'auroit pu lui porter aucun secours assez prompt : car en supposant qu'un autre enfant se fût risqué pour le tirer de là, il n'auroit pas eu la force de le traîner. J'ai quelquefois été obligé de risquer des hommes, ce qu'on ne doit faire que dans des circonstances bien graves; du moins ils savent à quoi ils s'exposent, et pourquoi. Mais j'avoue que si j'avois vu commencer cet enfant, je l'aurois empêché de continuer.

Cette considération morale doit faire proscrire tous les aqueducs trop étroits et trop bas, excepté quand ils sont peu enfoncés au-dessous d'une route, et quand on a la facilité de les découvrir pour les curer.

Digitized by Google

On n'a fait ici mention que des corps plus pesans que l'eau, malgré que plusieurs ingénieurs ayent paru craindre les engorgemens produits par les herbes, qu'on a l'habitude de couper deux ou trois fois par an. Nous devons à la vérité, de dire que nous avons souvent vu faucher le Canal de Saint-Quentin; et qu'ensuite on levoit ordinairement les clapets pour rassembler les herbes auprès des écluses, sans qu'il en soit jamais résulté rien de fâcheux. Il est vrai qu'on avoit soin de tenir les biefs pleins; et nous ne prétendons point décider ce qui auroit pu arriver, si par suite d'une négligence il n'y avoit eu que deux pieds d'eau.

Tandis que nous traitons ce sujet, nous devons parler d'une écluse que M. Gauthey avoit dessinée; et dans laquelle les siphons, tant d'amont que d'aval, débouchoient sous les bajoyers, et seulement à quelques pouces plus bas que les hautes eaux du bief inférieur. Il avoit surement eu pour but de diminuer l'enfoncement des tuyaux, et conséquemment la profondeur des fondemens, comme aussi l'énorme quantité de maçonnerie à démolir en cas de réparation. Mais lui-même semble avoir abandonné aussitôt cette idée; et il est facile de faire voir qu'il a eu raison. En effet, trois inconvéniens graves s'ensuivoient à l'amont de l'écluse. Le premier, que la disjonction produite par les siphons se trouvoit presque à la hauteur du chardonnet, et en auroit compromis la solidité. Le deuxième, qu'à l'instant de la levée du clapet, l'eau auroit monté dans le renfoncement de sortie, bien au-dessus du niveau du liquide renfermé dans le sas; de sorte qu'elle auroit pu pénétrer dans un bateau dont le bord n'auroit pas été très-élevé. Le troisième, que l'eau seroit ensuite retombée sur le radier, à peu près comme à la sortie d'un mur de chute; ce qui auroit produit une partie des dégradations qu'on a reprochées aux ventelles, et principalement quand le bief inférieur étant vide, on auroit voulu le remplir aux dépens du bief supérieur.

Quant aux siphons d'aval, plusieurs défauts non moins graves auroient été le résultat de cette disposition. Le premier, que la disjonction auroit été tout aussi fâcheuse derrière le chardonnet. Le second, que l'eau auroit également pu s'introduire dans un bateau qui se seroit avancé entre les épaulemens, pour se tenir prêt à entrer. Le troisième, qu'on auroit cessé de pouvoir manœuvrer, dès que l'eau du bief inférieur auroit baissé au-dessous de

Digitized by Google

la tablette de sortie; puisqu'on n'auroit pu vider le sas plus bas que cette tablette. Ainsi, il auroit été impossible de naviguer dans les temps de sécheresse, avec un point d'eau de quelques centimètres moins élevé que le niveau ordinaire des biefs. Pour bien entendre la quatrième objection, il faut faire attention qu'un accident peut faire perdre une partie des eaux du bief inférieur, tandis que les portes d'aval se trouveroient fermées, ce qui n'est pas sans exemple; et qu'on peut avoir à vider le bief pour réparer l'accident. Il seroit encore possible que les portes eussent été fermées par maladresse, pendant que pour le chômage on auroit mis le bief inférieur à sec, et lorsque le bief d'amont y étoit déjà. Cela posé, s'il étoit nécessaire de vider le sas pour soulager les grandes portes, ou bien pour faire quelque visite ou réparation; la hauteur des tablettes de sortie en empêcheroit, à moins d'avoir recours à des épuisemens qui occasioneroient du retard et une dépense inutile. On pourroit encore ajouter le même reproche qu'en amont: savoir, que l'eau tomberoit presque comme d'un mur de chute. Il y auroit toutefois la différence, que cet effet ne pourroit avoir lieu avec l'eau basse, excepté dans le cas de l'accident précité: lorsque les portes d'aval se trouveroient fermées, et qu'on voudroit remplir le bief inférieur aux dépens du bief d'amont. Mais la hauteur de l'eau du bief inférieur n'empêcheroit qu'en partie la chute de dégrader le radier construit entre les épaulemens de fuite. On doit même croire qu'il se feroit un courant horizontal qui iroit frapper le mur opposé, et se réfléchiroit ensuite sur les talus (1).

Au reste, il est évident que M. Gauthey avoit abandonné cette idée, presque aussitôt qu'elle avoit été conçue : car, il n'avoit point cherché à la mettre en œuvre de la manière qu'il était capable de le faire. En effet, dans le dessin qui reste de lui, il avoit placé les siphons si près du parement des murs, qu'il ne restoit qu'un placage dont la résistance auroit été comme nulle.

---

(1) Dans la supposition qu'on a faite plus haut, du bief inférieur mis à sec tandis que les portes d'aval seroient fermées; si le bief supérieur étoit plein, et qu'on voulût en employer l'eau à remplir l'autre, le parti le plus sage seroit d'épuiser le sas pour ouvrir les grandes portes. Autrement, l'eau qui tomberoit sur le radier de fuite pourroit, à sa sortie de l'écluse, emporter les perrés dont les talus seroient recouverts.

Digitized by Google

Nous avons fait connoître les défauts qu'on doit reprocher aux siphons, et qui balancent pour le moins les grands avantages qu'on ne peut leur contester sous d'autres rapports. Ces défauts sont assez nombreux, et quelques-uns ont assez de gravité, pour chercher à les faire disparoître, sans retomber dans les inconvéniens que présentent les ventelles.

Les principaux vices, que nous avons remarqués dans les siphons, sont la dépense considérable causée par leur enfoncement au-dessous du radier; l'impossibilité d'apercevoir les dégradations qui y surviennent; l'énorme quantité de maçonnerie à démolir pour les réparer; la probabilité que dans une réparation les maçonneries neuves ne se lient pas bien avec les anciennes; enfin le manque de liaison des branches des siphons avec le reste de la maçonnerie, dans l'endroit où cette disjonction peut avoir le plus de danger. Nous corrigerons à la fois tous ces défauts (1): si nous pratiquons, dans les bajoyers et épaulemens, des renfoncemens semblables à ceux du Canal de Saint-Quentin, mais qui se prolongeront, tant à l'amont qu'à l'aval, un peu au-dessus des plus hautes eaux; et si nous y plaçons les deux branches verticales d'un siphon de fonte, dont la branche horizontale sera établie sur le massif des contre-forts, de telle sorte que la génératrice inférieure de sa concavité soit au niveau des hautes eaux du bief supérieur. En effet, si par un moyen un peu prompt, nous expulsons l'air contenu dans le siphon; il est clair que l'eau passera du bief supérieur dans le sas, ou du sas dans le bief inférieur, avec la même vîtesse que par les siphons ordinaires : puisque cette vîtesse sera également due à la différence des niveaux. On voit aussi que le nouveau passage de l'eau étant entièrement supérieur aux portes, on n'aura besoin de donner aux bajoyers, ni plus de largeur, ni plus de profondeur de fondation, que dans une écluse à ventelles (2). Que la liaison sera rétablie entre le mur de chute et les fondations des bajoyers, et aussi entre ces dernières et le busc d'aval. Que les dégradations intérieures ne pourront plus avoir lieu, excepté dans les renfoncemens ou

(1) Les lecteurs, qui auroient quelque peine à comprendre ce qui suit, peuvent jeter les yeux sur la seconde et la troisième planche, dont on expliquera plus tard les détails. Pour le moment, il suffit de concevoir les masses.

(2) Il faudra seulement prolonger un peu la largeur du contre-fort.

Digitized by Google

chambres des siphons (1). Que là elles seront exposées à la vue, sans qu'on ait rien à démolir pour les reconnoître ni pour les réparer; et conséquemment, on cessera de craindre le défaut de prise des anciennes maçonneries, avec de nouvelles qu'on n'aura plus besoin de faire. Voilà donc corrigés tous les défauts dont l'énoncé est reproduit au commencement de cet alinéa, et lesquels sont sans contredit les plus graves de beaucoup.

On peut faire une objection. On accordera sans peine que la maçonnerie de la chambre d'amont du siphon éprouvera encore un peu moins de dégradations que dans l'ancien système. Mais, tout en convenant que les réparations seront très-faciles dans la chambre d'aval, on dira qu'elles seront fréquentes, à cause de la rapidité avec laquelle l'eau viendra frapper sur le dallage. On dira encore que l'eau se réfléchira sur ce dallage, et réagira horizontalement avec une force qui ne sera guère moindre que dans les larrons, que nous avons cependant rejetés en grande partie pour cette cause.

Le remède est bien facile à ces deux inconvéniens. Il suffit, en effet, que le siphon dégorge dans une boîte en fonte, dont le fond soit une tablette portant quatre ou six montans amovibles qui auront chacun deux rainures; et que cette tablette puisse à volonté sortir de la chambre, pour laisser rejointoyer le pavage inférieur (2). Les trois côtés intérieurs de cette boîte se trouveront formés par de minces plaques de fonte, qu'on glissera dans les rainures jusqu'à la hauteur à laquelle l'eau aura perdu assez de sa force, pour ne pouvoir plus dégrader les joints de la maçonnerie. Quant au côté qui regarde le sas, on y mettra un nombre de plaques que l'expérience déterminera à l'aide de la considération suivante. C'est que la direction de l'eau sera changée par les parois de la boîte, en sorte que le fluide se trouvera forcé de monter verticalement, ainsi que dans les siphons de M. Gauthey; et comme le vide de la chambre sera beaucoup plus grand que la capacité intérieure des tuyaux, la vîtesse se trouvera d'autant plus diminuée.

---

(1) Nous ne parlons point des dégradations des tuyaux de fonte: car on peut donner à ces tuyaux une épaisseur à les faire durer dix siècles; et quand il faudra les remplacer, il n'y aura que quelques moellons à déranger pour les enlever et en poser d'autres.

(2) L'eau n'ayant aucun mouvement sur le pavage, si les joints en ont été bien faits, il faudra un grand nombre d'années pour qu'ils se dégradent.

Digitized by Google

L'expérience aura donc à déterminer le nombre des plaques qui devront fermer la boîte sur le devant, pour que la vîtesse acquise soit presque amortie, et pour qu'elle réagisse le moins possible sur le côté.

On ne sauroit contester que, par cette disposition, les deux objections se trouvent répondues : la chambre n'éprouvera plus de frottement de la part de l'eau ; et ce fluide ne réagira plus horizontalement. Bien loin de là, il entrera dans le sas avec une vîtesse beaucoup moindre que par les siphons de M. Gauthey et du Canal de Saint-Quentin : puisque la section de la boîte sera beaucoup plus grande que celle du tuyau (1). D'ailleurs, l'eau sortira plus haut au-dessus du radier, et le courant qui subsistera encore ne pourra pas le dégrader. Néanmoins on n'aura pas les inconvéniens que nous avons reprochés à l'idée que M. Gauthey semble avoir répudiée dès sa naissance : Il n'en résultera pas une chute sur le radier, lorsque le bief inférieur sera à sec, ni l'impossibilité de vider le sas; puisqu'il sera toujours facile d'ôter une partie des plaques de devant, dans ce cas qui n'arrive que rarement.

La boîte que nous venons d'introduire a un autre usage. Sans elle on n'auroit pu faire sortir l'air renfermé dans les siphons, et conséquemment on n'auroit pu procurer l'écoulement de l'eau du bief supérieur, quand celui d'aval se seroit trouvé à sec. Tandis qu'il suffira que la boîte soit pleine d'eau, jusqu'à quelques pouces au-dessus de la gueule du siphon.

La construction proposée présente en outre plusieurs avantages remarquables. Mais avant de les exposer, il est bon d'examiner les moyens de faire sortir l'air du siphon, et de l'y faire rentrer. Pour parvenir à ce but, nous supposons qu'en coulant le siphon on a ménagé, à plomb de la bran-

---

(1) Dans l'écluse qui va être décrite, le vide de la boîte, déduction faite de l'espace occupé par le tuyau, a une section dont le rapport avec celle de ce tuyau est de 214 à 33.

On auroit tort d'objecter que la rapidité de l'eau s'amortit de même à la sortie des siphons du Canal de Saint-Quentin, où les renfoncemens d'aval ont à peu près des dimensions pareilles. Car l'eau n'y change point de direction à la sortie des tuyaux, ce qui est cause que le jet s'épanouit très-peu, et que sa vîtesse ne se partage pas sur toute la section des chambres. Au contraire, l'eau de nos siphons trouve dans le fond de la boîte un obstacle qui la force à changer de route, et à répartir sa vîtesse d'une manière presque uniforme sur toute la section du renfoncement. On peut encore favoriser l'uniformité de cette répartition, par un procédé qui sera décrit dans la suite.

Digitized by Google

che de fuite, un tuyau très-court, d'un moindre diamètre, terminé par une bride dont la platine a ensuite été usée de façon à présenter un plan uni. Sur cette platine, garnie d'un cuir, de rondelles de plomb et de flanelle, ou de carton bouilli dans l'huile et la litharge, on pose celle d'un corps de pompe, double ou simple, lequel est destiné à vider l'air, à l'aide d'une manivelle et d'un engrenage dont la description seroit superflue. Plus bas que la soupape ou les soupapes fixes, la partie inférieure du corps de pompe porte un robinet qui permet de laisser rentrer l'air, et qu'on ferme avant de pomper. Enfin, le corps de pompe et le siphon sont reliés ensemble par plusieurs vis, qui serrent les brides de l'un et de l'autre, et qui appuient sur le corps mou interposé pour empêcher l'air de se faire aucun passage.

D'après cet exposé, il est aisé de juger que la manœuvre de nos siphons n'est pas plus difficile que celle des ventelles. Supposons qu'on veuille remplir le sas pour faire monter un bateau. Comme le robinet reste ouvert, toutes les fois qu'on ne manœuvre pas; l'air du siphon se met en équilibre avec l'athmosphère, et l'eau se trouve, dans chaque branche verticale, au niveau du bief auquel la branche appartient. Les choses étant dans cet état, on ferme le robinet et l'on fait agir la pompe. Dès le premier coup de piston, l'eau monte un peu dans la branche horizontale, si le bief supérieur est plein, c'est-à-dire s'il affleure cette branche; sinon elle s'y élève après un petit nombre de coups. Alors, et tant qu'on n'a pas entièrement épuisé d'air le tuyau horizontal, l'eau prend de la pente depuis un bout jusqu'à l'autre de ce tuyau; et elle coule dans la branche inférieure, dont elle tapisse d'abord les parois, jusqu'à ce que l'air étant totalement aspiré par la pompe ou entraîné par le liquide, celui-ci coule à plein dans le siphon. L'écoulement se continue ensuite, tant que le sas n'est pas au niveau du bief supérieur. Arrivé à ce point, et après avoir tourné les portes, il faut ouvrir le robinet pour faire rentrer l'air. Car, sans cela, lorsqu'on voudroit vider l'écluse après avoir refermé les portes d'amont, l'eau continueroit à y affluer.

Il est évident qu'en aval, le procédé est le même pour vider le sas. Le liquide que contiennent les deux branches verticales du siphon se trouvant également, dans l'une de niveau à l'eau du sas ou du bief supérieur, et dans l'autre de niveau au bief inférieur; on fermera encore le robinet, et l'on

Digitized by Google

pompera jusqu'à ce que tout l'air soit évacué : ce dont on sera certain quand le liquide sortira du corps de pompe. L'eau passera de la sorte dans le bief inférieur; et en ouvrant les portes d'aval pour laisser entrer ou sortir un bateau, on ouvrira aussi le robinet; afin de rendre l'air et d'empêcher l'eau de reprendre son écoulement, lorsque plus tard on fera jouer la pompe d'amont.

Quelques personnes pourroient penser qu'il faudra long-temps pour épuiser l'air contenu dans les siphons : et d'autant que pour remplir les tuyaux, on semble avoir besoin d'élever une partie de l'eau du bief inférieur; ce qui suppose une assez grande dépense de forces. Mais l'objection ne sera point présentée sous cette forme par des ingénieurs : Ils reconnoîtront, à la première vue, qu'il n'y a besoin d'élever l'eau du bief inférieur, que d'une hauteur égale à celle dont l'eau supérieure doit monter pour parvenir au bas du tube horizontal, hauteur qui est souvent nulle; et que du moment où l'eau supérieure entre dans ce tube, c'est elle qui remplit la branche descendante; en sorte que la résistance, c'est-à-dire la différence du ressort de l'air intérieur avec la pression atmosphérique, n'est jamais plus forte que la hauteur à laquelle l'eau s'élève au-dessus du bief supérieur. Ce qui hâtera encore l'évacuation de l'air, c'est que la plus grande partie en sera expulsée par l'eau, sans passer par le corps de pompe (1).

La description qu'on vient de donner nous fait encore apercevoir quelques avantages du nouveau procédé. Nous avons dit que l'eau passe en petite quantité, aux premiers coups de piston, et que sa rapidité augmente graduellement. On n'aura donc plus à craindre le reproche que nous avons fait aux anciens siphons, de communiquer subitement à l'eau son maximum de vîtesse : ce qui tendoit à détruire la charpente des clapets, et à dégrader la maçonnerie des siphons, ainsi que celle des renfoncemens, du radier, et des bajoyers, et enfin à tourmenter les bateaux.

On doit aussi conclure de là, que notre système de siphons échappe à une objection qu'on peut présenter contre l'ancien. Dans celui-ci, on est

---

(1) Pour ne point interrompre le discours, on renvoie, à la note qui suit ce mémoire, les lecteurs qui ne seroient pas suffisamment convaincus. Nous croyons qu'après l'avoir lue, ils penseront avec nous que la manœuvre des siphons pourra se faire en une ou deux minutes.

Digitized by Google

forcé d'ouvrir toujours les clapets en entier : d'où il suit qu'un bief étant vide, si l'on a à le remplir avec les eaux du bief supérieur, elles prennent un mouvement très-rapide à l'aval de l'écluse; ce qui cause la corrosion du fond sur une distance assez longue, jusqu'à ce que l'eau ait atteint une hauteur qui empêche cet effet. Au contraire, en commençant à remplir un bief, nous pouvons ne pas vider entièrement le fluide athmosphérique contenu dans les siphons, afin de modérer la vîtesse de l'écoulement; et nous conservons la facilité de faire rentrer de l'air par le robinet, si l'on reconnoît que cette vîtesse devient trop grande.

Un autre avantage considérable, qui résulte de cette description : c'est que le tuyau horizontal étant au-dessus des plus hautes eaux, la maçonnerie étant pleine jusqu'à ce tuyau, et le robinet d'air étant ouvert pendant l'intervalle des manœuvres, il est absolument impossible qu'il se fasse la moindre perte d'eau par les siphons. Ainsi se trouvent évités trois défauts reprochés à l'ancien système : 1°. Les filtrations que permettent ordinairement les fermetures des premiers siphons. 2°. La difficulté de découvrir ces filtrations, à moins qu'elles ne soient très-fortes. 3°. L'obligation d'interrompre le passage des bateaux, et celle de vider les biefs ou de faire des batardeaux et des épuisemens, chaque fois qu'on veut remédier à ces filtrations ou bien faire toute autre réparation aux clapets et aux vannes dormantes, ainsi qu'à la maçonnerie des tuyaux.

C'est encore le lieu de faire observer que la machine aspirante étant en évidence, le moindre accident est signalé de suite; et que le plus fâcheux peut se réparer en dix minutes, sans avoir, comme pour les clapets, besoin de mettre les biefs à sec. En effet, si le mode de construction proposé étoit adopté pour un canal : de même qu'on a des éclusiers ouvriers d'état, tels que charpentiers, maçons, etc., on auroit aussi un éclusier pompier chargé de l'entretien des pompes; lequel veilleroit à ce que, de deux en deux, ou de trois en trois écluses, il se trouvât toujours un corps de pompe de rechange en bon état. Aussitôt qu'une pompe commenceroit à se déranger, on iroit chercher celle de rechange la plus voisine, et il suffiroit d'ôter six vis et de les remettre, pour que la réparation fût terminée. Nous en dirons autant des engrenages, si l'on a soin de faire toute les machines semblables.

Digitized by Google

Or, on se rappellera que ce sont les seules réparations que peut nécessiter notre système, puisque les tuyaux des siphons doivent durer des siècles (1).

On a objecté, à l'ancien système des siphons, la nécessité d'employer beaucoup de pierres des plus grandes dimensions. Il n'en est pas ainsi dans le nôtre : les chambres peuvent être construites avec de petits matériaux, pourvu qu'ils ayent beaucoup de queue; ce qu'on doit exiger dans tous les paremens d'une écluse, et bien plus par-tout ailleurs que dans les renfoncemens.

Le dernier des inconvéniens que nous avons signalés, comme particuliers aux anciens siphons, est la possibilité d'un engorgement, et la presque impossibilité où l'on seroit quelquefois de le détruire, en supposant même qu'on ne craignît point de risquer la vie d'un enfant. La nouvelle forme proposée ne laisse presque aucune probabilité en faveur de cet engorgement: puisque les corps durs et pesans, qui pouvoient fort bien être entraînés par l'eau, et tomber dans les tuyaux descendans, devroient au contraire être aspirés; ce qui paroît bien difficile. Au reste, s'il arrivoit jamais un semblable accident, il seroit bien plus aisé d'y remédier. Car, les tuyaux verticaux ayant plus de deux pieds de diamètre, et étant ascendans, un homme mince pourroit monter dedans avec de la lumière, et s'y tenir de façon à avoir la tête et les bras dans la branche horizontale : moyennant quoi, et à l'aide d'une perche flexible, il auroit la faculté de faire tomber les corps étrangers dans l'autre branche verticale. Il ne courroit d'ailleurs aucun risque d'asphyxie; et s'il étoit fatigué, il n'auroit qu'à se laisser couler de quelques pieds de hauteur (2).

---

(1) Un engrenage bien simple suffit à une machine à laquelle une aussi foible résistance est appliquée. Il ne faudroit donc qu'un petit nombre de pièces; et on les confectionneroit en fonte, afin que, sans coûter beaucoup, elles fussent parfaitement semblables. On garderoit les modèles en cuivre, pour l'époque où il deviendroit nécessaire d'en fondre d'autres.

(2) On peut ajouter que, dans le cas d'un engorgement, l'homme chargé de décombrer n'éprouveroit aucun dégoût dans son travail. Il n'en seroit pas ainsi de l'enfant qui pénétreroit dans les anciens siphons: on voit souvent des jeunes gens, et quelquefois des hommes, consentir à courir un péril imminent, qui ne s'exposeroient pas à vaincre certaines répugnances. Or les siphons que j'ai connus sont, pendant les chômages, le réceptacle de tous les amphibies les plus hideux et les plus dégoûtans. On trouveroit difficilement un enfant qui se décidât à travailler, couché sur le ventre, au milieu de ces animaux.

Digitized by Google

Au lieu d'une perche, on pourroit faire usage d'un bâton composé de plusieurs parties réunies par des vis, ou liées fortement avec des cordes.

Nous avons passé en revue, non pas dans l'ordre où ils s'étoient présentés d'abord, mais en suivant le développement des idées relatives au nouveau procédé, tous les vices que nous avons cru devoir signaler dans l'emploi des siphons construits jusqu'ici, et tous ceux qui leur sont communs avec les autres systèmes de transmission de l'eau dans les écluses. Si nous ne nous sommes point fait illusion, nous avons démontré que tous ces vices sont, ou détruits, ou singulièrement atténués par les dispositions que nous avons proposées. Il ne nous reste plus qu'à soumettre à nos lecteurs les détails de construction sur lesquels nous n'avons point insisté, de peur de ralentir l'attention. Cette description nous donnera occasion de répondre à quelques objections qui pourroient encore être faites.

Le projet de la tête supérieure de l'écluse est contenu dans la seconde planche. Les quatre premières figures représentent, à l'échelle de quinze millièmes, le plan, la coupe en longueur faite sur l'axe de l'ouvrage, la coupe en travers faite à l'amont du massif des chardonnets, et la coupe en travers faite dans le courant du sas. Ces deux dernières n'offrent rien qui nous soit particulier, et n'ont été dessinées que pour servir, par leur comparaison, à l'intelligence des détails des autres figures (1).

Une moitié de la première figure montre l'écluse terminée, remblayée, et pavée derrière les bajoyers. Dans l'autre moitié, la maçonnerie est ache-

---

(1) On trouvera peut-être un peu forte l'épaisseur des bajoyers dans la figure 4. Cela tient à ce qu'elle a été calculée dans la supposition où une maçonnerie, spécifiquement peu pesante, auroit à résister à une tranche d'eau qui pourroit s'introduire derrière le mur, sur toute la hauteur de ce dernier. En partant de ces hypothèses, et en supposant la face intérieure verticale, l'épaisseur de la maçonnerie a été déterminée, pour le cas de l'équilibre absolu, par les formules de M. de Prony; il n'a été ajouté ensuite, pour la stabilité, que le supplément de résistance qui provient de la distribution du même cube de maçonnerie sur une plus grande base. Cet excédant n'est pas trop considérable, dans la supposition précitée, puisque le talus intérieur s'oppose bien moins que le talus extérieur au renversement des murs, ainsi qu'on peut s'en assurer à l'inspection des formules. Au reste, cet excès d'épaisseur, qui seroit à diminuer dans des circonstances plus favorables, n'influe en rien sur le nouveau mécanisme introduit.

Digitized by Google

vée, mais non encore recouverte. De cette figure et des trois autres, on conclura que l'écluse représentée a cinq mètres d'ouverture, deux mètres de chute, et que la hauteur d'eau est aussi de deux mètres dans chaque bief. Ces dimensions n'ont point été choisies arbitrairement, mais elles sont déterminées par le désir de voir faire l'essai du nouveau système, sur un canal où elles ont été prescrites. Nous avons élevé les bajoyers de deux assises ou de huit décimètres au-dessus des portes, et nous avons donné au busc trente-cinq centimètres de saillie sur le radier d'amont. Le radier du sas a un bombement de trente-cinq centimètres, dont l'arête supérieure est à la hauteur du busc d'aval (1).

La figure 5 est composée de deux coupes horizontales faites dans les chambres du siphon de droite, entre le fond de chacune d'elles et le tuyau de fonte qui est au-dessus (2); la figure 6 est la coupe verticale faite suivant l'axe du même siphon, et vue du côté intérieur; les figures 11 et 12 sont les coupes faites par des plans qui passent respectivement par les axes des deux branches verticales, et qui sont perpendiculaires aux bajoyers. Toutes ces figures ont été rapportées à l'échelle des quatre premières, qui est celle de quinze à mille.

En comparant ces huit figures, on voit que les siphons sont placés à un mètre en arrière du parement des murs; et qu'ils reposent sur les contre-forts, dans lesquels ils ne sont qu'à moitié encastrés, de telle sorte que la

---

(1) On remarquera, dans les deux premières figures, une légère innovation indépendante de tout le reste de la construction. C'est qu'on a recouvert les coulisses, chacune par une pierre plate de seize centimètres d'épaisseur, laquelle peut se lever à l'aide d'un anneau, quand on veut placer des poutrelles. Cette dernière opération n'a pas ordinairement lieu une fois en dix ans; tandis que des entailles faites dans le couronnement des bajoyers, il résulte une difformité perpétuelle, et le risque de faire tomber à l'eau les personnes qui ne feroient point attention à un accident qui frappe peu la vue. J'ai été témoin d'un pareil malheur arrivé dans un port de mer, et causé par l'enclave d'une des échelles de miséricorde. On ne doit donc point regarder à ce très-petit supplément de dépense, que le peu de poids de la pierre permet encore de diminuer, en supprimant l'anneau que nous y avons encastré.

Ces pierres sont représentées en place d'un côté de l'écluse, et sont supposées enlevées de l'autre côté.

(2) Il est facile de reconnoître que ces deux coupes sont projetées sur un plan horizontal, où elles conservent leurs positions respectives.

Digitized by Google

génératrice la moins élevée, parmi celles de leur intérieur, est de niveau au sommet des portes. Les chambres qui les contiennent ont $1^{mè}$, 41 de largeur : et comme les siphons ont $0^{mè}$, 65 de diamètre intérieur, et $0^{mè}$, 03 d'épaisseur; il en résulte, de chaque côté, un vide dont le minimum est de $0^{mè}$, 35. La profondeur de $1^{mè}$, 66 pour la chambre d'amont, et de $2^{mè}$, 06 pour celle d'aval, donne par-derrière le même minimum de $0^{mè}$, 35; lequel est plus que suffisant pour le passage de l'ouvrier qui feroit le rejointoiement, après l'enlèvement de la boîte d'aval.

On voit également, sur ces figures, que le fond de la chambre d'amont est à $0^{mè}$, 20 au-dessous du radier des épaulemens; et que le fond en pierre de la chambre d'aval est plus bas que la génératrice inférieure du radier du sas, de $0^{mè}$, 22 qui se réduisent aussi à $0^{mè}$, 20, par la pose de la plaque en fonte de $0^{mè}$, 02 d'épaisseur. En ajoutant à l'avant-dernier nombre $0^{mè}$, 35 pour la hauteur des buscs, et $0^{mè}$, 10 dont les extrémités du siphon sont plus élevées que les buscs respectifs, on trouvera $0^{mè}$, 65 pour l'élévation de l'extrémité de chaque branche, au-dessus du fond de la chambre dans laquelle elle est renfermée (1).

Nous répondrons plus tard, en examinant la tête inférieure, à l'objection qu'on pourroit tirer de ce que la branche supérieure du siphon se termine à dix centimètres au-dessus du busc. Nous prouverons qu'on pourroit la descendre davantage, mais qu'il n'y a aucune espèce d'inconvénient au parti que nous avons adopté à ce sujet.

Les dépressions des chambres des siphons sont raccordées avec les radiers, par des plans dont l'inclinaison est d'environ quarante-cinq degrés : ce qui facilite le placement et le déplacement de la plaque de fonte, par laquelle est formé le fond de la boîte d'aval.

La hauteur des chambres s'arrête au niveau des portes. Cette disposition laisse apercevoir les siphons jusqu'à la naissance de la branche horizontale, et elle permettra de les enlever sans avoir à déplacer que quelques pierres, lorsqu'au bout de plusieurs siècles il faudra les renouveler.

---

(1) Dans le système qu'on veut introduire, et qui consiste à baisser le busc d'amont fort au-dessous du fond du bief supérieur, il seroit évidemment inutile de déprimer la chambre d'amont du siphon plus bas que le radier des épaulemens (Voyez la note au bas de la page 11).

Digitized by Google

On auroit pu, à la rigueur, ne point placer d'appuis sous les siphons; puisqu'ils sont supportés par le haut, et que leur matière résiste fortement à la traction. Mais on a jugé plus prudent de faire reposer chaque branche sur trois piliers de fonte, carrés et de $o^{mè}$, 075 de côté. Ces piliers sont dessinés dans les figures 2, 5, 6, 11 et 12, dans chacune selon le système de coupe ou de projection qu'elle représente. On les distingue plus clairement dans les figures 7, 8, 9 et 10 : dont les deux premières offrent les coupes horizontales faites dans les chambres, par les mêmes plans que dans la figure 5; et dont les deux dernières sont des coupes verticales parallèles au mur de face, et passant par l'axe du siphon de droite. Ces quatre figures sont rapportées à l'échelle d'un à vingt-cinq. Le haut des piliers est encore mieux exprimé dans la figure 16, qui est une coupe verticale, à l'échelle du dixième, passant par l'axe d'un de ces piliers, et perpendiculaire à la surface cylindrique du tuyau de fonte. Elle montre que le pilier est entaillé de $o^{mè}$, 03, sur $o^{mè}$, 08 de hauteur, pour que le cylindre puisse reposer dessus dans toute son épaisseur, sans se trouver débordé en dedans. La joue de $o^{mè}$, 045, qui se trouve ainsi en dehors, est reliée avec le tuyau par un boulon dont la tête est noyée dans la fonte, du côté intérieur, et dont l'autre bout, taillé en vis, est garni d'un écrou. Rien n'empêche d'y substituer un boulon à clavette; et il y a des raisons à donner en faveur de l'un et de l'autre mode d'entretenement.

Dans le cas peu probable, vu l'enfoncement des siphons et la police des écluses, où un marinier viendroit à frapper un des piliers avec sa gaffe, ce support serviroit de lévier tendant à la rupture du tuyau: il convient donc de le maintenir par le bas. C'est à quoi l'on parvient au moyen de trois arrêts de forme demi-circulaire, qui sont marqués dans les figures 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12. On n'en a point indiqué en dehors, afin de pouvoir facilement placer et enlever les piliers, et mettre dessous des cales qui serviront en même temps d'arrêts pour ce côté-là.

A la chambre d'aval, les arrêts font partie de la plaque en fonte, et saillent au-dessus de trois centimètres. A celle d'amont, ils sont taillés dans la pierre, en saillie de quatre centimètres sur la tablette. Lorsque ces derniers seront usés, on les remplacera par de petites plaques de fonte, incrustées

Digitized by Google

dans la maçonnerie, et dont les arrêts ne déborderont que de trois centimètres, comme en aval (1).

On sait déjà que dans la chambre d'aval, le fond de la boîte est formé par une plaque de fonte de $0^{mè}$, 02 d'épaisseur : cette plaque laisse un vide de $0^{mè}$, 02 de chaque côté, entre elle et la maçonnerie, et porte six montans en fonte, dont les figures représentent tous les détails. Ces montans ont $0^{mè}$, 07 sur chaque face; et leurs rainures ont dix à onze millimètres de large, pour recevoir les petites plaques de fonte, d'un centimètre d'épaisseur, qui sont destinées à former les parois latérales (2). C'est principalement dans les figures 8 et 10, qu'on distingue la manière dont les montans sont retenus sur la plaque, à l'aide de boulons à vis, par des brides de $0^{mè}$, 03 en carré. On n'a pas fortifié davantage cet assemblage, pensant qu'il fatiguera peu; attendu que, excepté sur le devant, les montans sont entretenus, d'un côté par les petites plaques, et de l'autre par des cales qu'on peut insérer entre eux et la maçonnerie. Mais rien n'empêche d'alonger assez les brides, sur-tout aux deux montans voisins du mur de face, pour que chacune reçoive deux boulons.

Dans les figures 2, 6 et 12, les petites plaques de fonte, ou de tôle, sont placées par-devant jusqu'à la hauteur que l'expérience déterminera probablement comme la plus avantageuse (3). Sur les côtés et au fond, on en a mis jusqu'au point où l'on pense qu'elles deviendront inutiles, pour la conservation de la maçonnerie.

Le tuyau qui porte le corps de pompe est marqué aux figures 1 et 6; mais on a cru devoir le dessiner sur l'échelle d'un à vingt, dans les figures 13 et 14. En outre des trous des six boulons destinés à fixer le corps de pompe, et à le serrer sur les rondelles interposées entre lui et la bride du

---

(1) Il est évident qu'on pourroit employer d'autres moyens pour la chambre d'amont, et, par exemple, celui d'encastrer le pied du siphon dans la tablette de fond.

(2) On pourroit y substituer des planches de forte tôle, ce qui seroit une assez grande économie.

On pourroit aussi diminuer la première dépense, en employant le bois, tant en amont qu'en aval, à la construction des boîtes. Mais ce seroit une mauvaise économie, à cause des reconstructions subséquentes.

(3) Dans la coupe n°. 6 de la planche II, les plaques ne sont dessinées que d'un côté; on laisse voir de l'autre côté le plan incliné de raccordement.

Digitized by Google

siphon, on y a figuré un congé de quatre centimètres d'épaisseur, servant à fortifier le raccordement avec la partie de la branche horizontale qui est d'équerre au tuyau montant, laquelle présente, à cause de cela, moins de résistance.

Les robinets ne feront pas un service bien actif, dans la supposition même de la navigation la plus soutenue. On a dû cependant prévoir le cas où ils seroient usés avant le corps de pompe, et se ménager la faculté de les remplacer. C'est pour cela qu'ils ont une plaque, ou bride, destinée à s'appliquer sur une bride semblable d'un petit tuyau additionnel fondu avec le corps de pompe. On interposera, entre ces deux pièces, un cuir, du carton bouilli dans l'huile et la litharge, ou tout autre intermédiaire convenable; et on les serrera fortement par le moyen de six vis à écrou, comme on a fait du corps de pompe avec le tuyau de fonte.

Le corps de pompe et le robinet sont en cuivre. On les voit dans la figure 6; mais on a oublié dans cette figure les brides dont il vient d'être question, et qui d'ailleurs y auroient été presque imperceptibles. C'est dans la figure 15, représentant à l'échelle d'un dixième la coupe du corps de pompe et du robinet, qu'on en trouvera les détails. La pomme, ou sphère à jour, qui termine ce dernier, est destinée à prévenir les accidens d'aspiration qui seroient arrivés à des personnes imprudentes; si elles eussent appliqué la main ou quelque partie de leur corps au bout du robinet, dans le moment de son ouverture.

La figure 17 est une coupe faite sur la ligne *ab*, dans la rondelle de la clef (1).

---

(1) Le robinet peut quelquefois être heurté par les mariniers, lorsqu'ils se pressent trop en faisant la manœuvre. On rendra ce léger accident moins fréquent, et on en atténuera les suites, si l'on diminue le plus possible la saillie du robinet. Nous avons laissé douze millimètres de jeu entre le corps de pompe et les vis qui serrent les brides; on pourroit réduire ce vide à un ou deux millimètres, ce qui permettroit d'accourcir un peu le tuyau *cd*. On peut aussi restreindre beaucoup la partie *ef* du robinet: car nous y avons donné la longueur nécessaire, pour qu'on ait la facilité de placer les vis sans enlever la clef AB; d'où il suit qu'en s'assujettissant à démonter cette clef lorsqu'on change le robinet, il suffiroit que la tête des vis et le renflement de la clef ne se touchassent pas. Enfin on pourroit supprimer la partie *gh*, qui sépare le renflement et la boule à jour.

Pour faire disparoître tout-à-fait l'inconvénient résultant de la saillie du robinet, un de nos

Digitized by Google

Ce qui précède rend facile l'explication de la troisième planche, consacrée à décrire la tête inférieure : aussi avons-nous cru inutile d'insérer dans cette planche les détails des boîtes d'aval et des pieds des siphons. Nous avons même supposé que ces parties accessoires n'étoient pas encore mises en place. Par ce moyen, les figures ne contiennent que ce qui est indispensable à l'intelligence du système; et s'il n'a pas été bien compris à l'inspection de la seconde planche, on en trouvera ici la disposition générale, dans toute sa simplicité (1).

---

ingénieurs en chef les plus distingués, auquel nous avons bien à regretter de n'avoir pu soumettre cet ouvrage avant l'impression, nous a proposé d'ouvrir et de fermer le passage à l'air, par le moyen d'une vis. L'écrou, par le vide duquel l'air rentreroit dans le siphon, pourroit être taraudé dans le corps de pompe ou dans une pièce de rapport. En tout cas, il paroîtroit convenable de séparer par un cuir gras la tête de la vis et la platine sur laquelle elle se serreroit, de peur que l'air ne se fît un passage entre la vis et l'écrou.

Ce procédé ingénieux seroit, il est vrai, un peu plus embarrassant, parce qu'il faudroit faire attention à ce que la vis ni l'écrou ne pussent se salir quand ils seroient séparés l'un de l'autre; mais il détruiroit entièrement le défaut reproché au robinet. L'expérience seule apprendra lequel des deux moyens de fermeture est préférable, ou s'il en faut chercher un troisième.

(1) En décrivant la tête d'amont, nous avons omis d'attirer l'attention sur un perfectionnement, dont l'application est tout-à-fait indépendante de notre procédé pour la transmission de l'eau. C'est qu'au lieu d'être formé d'un arc de cercle, raccordé immédiatement avec la petite courbe qui arrondit sa pointe, le plan du chardonnet contient, entre ces deux courbes, une ligne droite de dix centimètres de longueur, sur laquelle s'appuie la porte lorsqu'elle est fermée.

M. Gauthey avoit remarqué qu'il se perd beaucoup d'eau par le chardonnet : ce qui est causé par sa forme circulaire et par celle du poteau-tourillon; desquelles il résulte, en supposant la charpente et la maçonnerie bien dressées l'une et l'autre, qu'elles ne se touchent que suivant une ligne droite, ou du moins par une surface très-étroite; tandis que si elles sont mal travaillées, ou si le poteau-tourillon a un peu de dévers, elles n'ont plus qu'un point de contact, et elles laissent un petit vide du haut en bas. Pour remédier à cet inconvénient, le célèbre Auteur du Canal de Charolais avoit proposé de tailler le poteau, de façon que la coupe de cette pièce présentât une portion circulaire, et une autre portion en biseau, qui seule auroit porté contre le chardonnet taillé de la même manière. Cette idée est ingénieuse, mais la disposition que nous venons d'exposer semble préférable : puisque la pression de l'eau agit perpendiculairement aux deux surfaces planes en contact, et tend à les coller l'une contre l'autre, sans tordre la porte. Au contraire, la poussée étant très-oblique par rapport aux biseaux de M. Gauthey, et le busc opposant, par le bas, une résistance invincible dans le sens de cette poussée; les biseaux, bien loin de faire l'effet d'un coin, ne pourroient se rapprocher de la maçonnerie, si au bout de quelque temps ils venoient à se déjeter, qu'en supposant la pression assez forte pour soulever la porte ou pour

Digitized by Google

La première figure représente le plan de la tête d'aval. Ainsi que dans la planche précédente, la moitié de l'écluse est supposée remblayée et pavée, tandis que de l'autre côté toute la maçonnerie est à découvert. La figure 2 est une coupe en long faite sur l'axe de l'écluse. La troisième figure est une coupe horizontale, faite entre le siphon de droite et le fond des chambres. La quatrième est une coupe verticale, parallèle à la direction de l'écluse, et passant par l'axe du même siphon : elle est vue de l'intérieur, ainsi que dans la planche précédente. Dans la cinquième figure, on a dessiné la coupe de la chambre d'amont, et dans la sixième celle de la chambre d'aval : ces deux coupes sont faites par des plans verticaux perpendiculaires aux bajoyers, et passant repectivement par les axes des deux chambres.

Dans cette troisième planche, entièrement rapportée à l'échelle de quinze à mille, on a trouvé inutile de répéter la coupe en travers du sas, pour laquelle on peut recourir à la planche précédente.

---

la tordre dans le sens de sa longueur. Or, on se garde bien de donner aux portes assez peu de poids et de solidité, pour qu'aucun de ces deux effets soit possible.

La disposition imaginée par M. Gauthey présentoit encore ce défaut, qu'elle obligeoit de démaigrir par le haut le poteau-tourillon, et d'y implanter un axe de fer; ce qui augmentoit la dépense et altéroit, considérablement la solidité de la porte, en affoiblissant l'assemblage de ce poteau avec la flèche ou bascule. On prétend, il est vrai, que l'axe de fer implanté dans le poteau diminue beaucoup le frottement. Mais cette considération influera peu sur ceux qui ont vu avec quelle facilité on ouvre les portes qui ont des colliers.

Nous ignorons depuis quel temps on a inventé ce perfectionnement; mais il nous paroît devoir être adopté, malgré qu'il oblige d'alonger de quelques centimètres la charpente des portes. Nous l'avons aperçu, pour la première fois, dans un projet fort bien étudié que M. Jacquiné, ingénieur ordinaire au Corps royal des ponts et chaussées, a fourni pour la seconde collection lithographique de l'École des ponts et chaussées.

Il arrive souvent que les portes des écluses se déjettent et cessent de se joindre l'une contre l'autre, soit par l'effet de leur propre poids, soit à cause du mouvement des bois ou du relâchement des assemblages. Souvent aussi on pourroit remédier à cet accident, en relâchant ou resserrant les colliers; ce qui vaut bien mieux que de retailler les poteaux délardés ou d'y mettre des fourrures. Mais on en est empêché par la crainte de transporter aux chardonnets les filtrations établies à l'aplomb de la saillie du busc. Avec le système de M. Jacquiné, on n'aura pas cette crainte : le retranchement d'un ou deux centimètres, sur la largeur de la surface plane de contact, ne pouvant donner aucun passage à l'eau.

Pour n'avoir point à éloigner la porte de la petite partie droite du chardonnet, dans le cas éventuel du resserrement du collier, on pourroit poursuivre cette partie droite un peu au-delà du commencement de la courbure du poteau-tourillon.

Digitized by Google

En comparant la troisième planche avec la seconde, on s'assurera qu'il n'y a rien de changé aux dimensions horizontales des siphons et de leurs chambres, non plus qu'à la distance des premiers au parement des murs. Mais comme on n'a plus à faire passer dans le sas l'eau d'un bief plus élevé, et qu'il faut, au contraire, vider le sas dans un autre bief dont le fond est au niveau du radier; il y a nécessairement des changemens dans les dimensions verticales.

On voit d'abord que les extrémités des deux branches de chaque siphon sont établies de niveau l'une par rapport à l'autre; et aussi que le dallage de la chambre d'aval est seulement de $0^{m},02$ plus bas que celui de la chambre d'amont, ces $0^{m},02$ étant réservés pour placer la plaque horizontale. En regardant la face extérieure de cette plaque comme le véritable fond, il se trouvera, des deux côtés, déprimé de $0^{m},20$ au-dessous du niveau auquel nous avons pavé le radier de la chambre des portes et celui des épaulemens; et parce que nous avons encore terminé les branches du siphon à $0^{m},10$ au-dessus du busc, qui a lui-même $0^{m},35$ de saillie; il en résulte qu'ici, comme à la tête supérieure, nous avons $0^{m},65$ de vide entre les siphons et le fond de leurs chambres.

La chambre d'amont s'élève, ainsi que dans la seconde planche, au niveau des portes. Il auroit été avantageux de prolonger autant celle d'aval, bien qu'on n'aura pas, en plusieurs siècles, à déplacer les siphons. Mais nous avons craint d'affoiblir le chardonnet; attendu qu'il supporte souvent une pression trois fois plus considérable que ne fait celui de la tête supérieure. C'est ce qui nous a déterminé à contre-butter cette poussée, en arrêtant la chambre des portes à $0^{m},85$ au-dessus des grandes eaux d'aval; hauteur suffisante pour que le bouillon n'atteigne point la plate-bande. Par ce moyen, et la branche horizontale du siphon d'aval étant établie au niveau de celle du siphon supérieur, le tuyau descendant se trouve encastré dans le moellonnage, sur trois assises de hauteur. Cet encastrement exigeroit la démolition d'une petite partie de la maçonnerie de moellon, si au bout de quelques centaines d'années on avoit à remplacer les tuyaux. Mais cet événement sera si rare, en comparaison des réparations et reconstructions que les siphons de l'ancien système exigeront un jour, qu'on doit regarder cela comme un

Digitized by Google

bien léger inconvénient, sur-tout eu égard à ce qu'on n'aura point à toucher à la maçonnerie du parement.

Ainsi que dans l'autre tête, les chambres des siphons ont leurs dallages raccordés par des plans inclinés, avec les radiers situés des deux côtés du busc. Les boîtes et les pieds sont en tout pareils à ceux décrits précédemment, et dessinés dans la seconde planche.

C'est ici le lieu de répondre à une objection dont nous avons parlé plus haut. Les siphons ayant, dans les deux têtes, leurs extrémités de $o^{mè},10$ plus élevées que les buscs; il s'ensuit qu'ils ne peuvent vider la tranche d'eau inférieure à ce niveau : de sorte qu'il semble, au premier coup d'œil, qu'on sera contraint de garder $o^{mè},10$ de hauteur d'eau dans le bief supérieur, et quelquefois autant dans le sas, lorsqu'on voudra mettre le canal à sec (1).

Quand bien même cette objection seroit fondée, elle ne feroit point rejeter notre système : elle le feroit seulement modifier, en ce qu'on alongeroit de o^{m},10 les branches verticales des siphons; ce qui donneroit à ceux-ci la faculté d'aspirer toute l'eau, jusqu'au niveau du busc. Deux moyens se présentent pour cela. Le premier est de baisser d'autant le fond des chambres d'amont des siphons supérieurs, et celui des chambres d'amont et d'aval des siphons inférieurs; afin de garder toujours $o^{mè},65$ de vide au-dessous des tuyaux. La diminution qui en résulteroit, dans la liaison des parties qui tiennent aux buscs, ne seroit pas assez considérable pour faire renoncer à cette modification. Le second moyen seroit de ne rien changer au niveau des tablettes dont les chambres sont pavées, et de réduire à $o^{mè},55$ la distance qui les sépare des siphons. La capacité des renfoncemens est telle, dans le sens horizontal, qu'il n'en résulteroit surement pas une diminution sensible dans la vîtesse de l'eau. Cependant, nous avons préféré n'avoir recours

---

(1) Nous aurions pu nous dispenser de répondre à l'objection qui vient d'être présentée; puisqu'on ne la fait point contre le système le plus usité, celui de la transmission de l'eau à travers les portes : bien que l'entretoise sur laquelle reposent les ventelles soit ordinairement élevée de $o^{mè}$, 10, au moins, au-dessus du busc. Un coup d'œil, jeté sur les planches du bel ouvrage de M. Hageau, fera voir qu'au Canal de la Meuse au Rhin, les ventelles ont de dix à vingt centimètres d'élévation de plus que le busc, et peut-être un peu davantage.

Digitized by Google

à aucune de ces dispositions, parce que l'emploi nous en a paru tout-à-fait inutile, ainsi que nous allons le démontrer.

L'objection tombe d'elle-même, pour les siphons d'aval. En effet, si par quelque mal-adresse l'écoulement des eaux supérieures avoit eu lieu avec les grandes portes fermées, et qu'il fallût ensuite vider le sas dans le bief inférieur, qui seroit déjà à sec; on pourroit ouvrir les portes lorsque l'eau du sas seroit proche d'être descendue à la hauteur de l'extrémité des siphons : puisque ceux-ci ayant jusqu'alors entretenu l'eau, presque de niveau des deux côtés des portes, il n'y auroit aucune difficulté à mouvoir ces dernières, pour laisser écouler de dix à douze centimètres d'eau qui seroient encore dans l'écluse. Mais en supposant qu'on eût négligé d'ouvrir les portes avant que l'eau du sas fût descendue au-dessous des siphons; en supposant que toute l'eau fût écoulée en aval, et qu'il n'en restât pas seulement une tranche entre le busc et l'entretoise inférieure; un calcul bien simple prouveroit qu'un effort de soixante kilogrammes, appliqué à l'extrémité du balancier, seroit suffisant pour ouvrir une des portes. Une action aussi foible, exercée tout au plus une fois chaque année, n'est pas capable de fatiguer la charpente.

Il est clair qu'il n'y auroit pas plus de difficulté à ouvrir les portes d'amont, lorsque le bief supérieur seroit baissé un peu au-dessous des tuyaux de fonte. Mais si ce bief étoit d'une grande longueur, qu'il eût, par exemple, six mille mètres sur dix de largeur; on pourroit craindre qu'un volume d'eau d'environ six mille mètres cubes, bien qu'il ne tombât sur le radier qu'une fois par an, ne pût en dégrader les joints. Assurément, l'inconvénient seroit moindre que dans le système des ventelles, où les radiers sont en outre fatigués par la chute de l'eau, à chaque passage de bateau; mais il faut l'éviter entièrement. Pour y parvenir, il suffit d'emplir le sas avant d'ouvrir les portes d'amont, lorsque l'eau peut encore couler par les siphons supérieurs; et de régler ensuite, à l'aide du robinet, l'écoulement d'un des siphons d'aval, de telle sorte que l'écluse reste pleine tant que les eaux du bief supérieur ne sont pas entièrement écoulées. Après cela, on videra le sas, et l'on ouvrira les portes d'aval comme nous l'avons expliqué.

Si l'on objectoit que, par négligence, l'éclusier auroit pu ne point emplir le sas avant que l'eau du bief fût descendue au bas de la branche courte des

Digitized by Google

siphons supérieurs. Nous répondrions qu'il faudroit fermer les portes d'aval et ouvrir celles d'amont, par lesquelles l'écluse s'empliroit. La quantité d'eau nécessaire à cet effet étant peu considérable, et n'étant chassée que par une pression de huit à dix centimètres; elle n'occasioneroit pas dans sa chute de dégradation sensible au busc ni au radier, et bien moins que les filtrations continuelles qui ont toujours lieu, au bout de quelques années, entre les portes et la maçonnerie. Ensuite, on tiendroit le sas constamment plein, pendant tout le temps de l'écoulement des eaux supérieures.

Une objection de détail qui pourroit encore être faite : c'est que les siphons d'une seule pièce, tels que nous les avons représentés, seroient d'un transport assez difficile (1). Mais on voit passer tous les jours, sur les routes et sur les cours d'eau, des pièces de fonte plus considérables et plus embarrassantes, destinées aux grandes usines qui s'établissent depuis quelques années. Au reste, rien n'empêcheroit de faire les siphons de trois pièces; dont une comprendroit nécessairement la branche horizontale, les deux coudes, et une certaine longueur des tuyaux descendans. Il faudroit alors faire en sorte de mettre les sutures au-dessous du point où cesse la navigation; afin qu'elles ne fussent jamais exposées à l'air, excepté pendant les chômages. Cette recommandation est motivée, sur ce que les alternatives d'humidité et de sécheresse pourroient altérer les substances interposées entre les brides des tuyaux, de façon que l'air y trouvât passage quand le liquide extérieur descendroit au-dessous. Ainsi, dans l'écluse que nous avons décrite, on donneroit $0^{m}.90$ de longueur aux tuyaux de rallonge, en supposant que la navigation ne dût jamais se faire avec moins d'un mètre de hauteur d'eau.

Nous n'avons point encore parlé des tirans, par lesquels sont retenus les colliers qui embrassent les poteaux-tourillons. Ils devront être placés le plus bas possible, c'est-à-dire au niveau du dessus des portes. L'un de ces tirans aura comme à l'ordinaire sa direction parallèle au busc; pour résister plus

(1) On n'objectera surement pas la difficulté de les couler. L'art de la fonderie est maintenant porté à un tel point, qu'il rendroit oiseux les détails que nous pourrions donner à ce sujet.

Digitized by Google

efficacement; lorsque la porte sera fermée. Il se prolongera horizontalement dans cette direction, jusqu'à douze ou quinze centimètres de l'axe du siphon; dont il rencontreroit la surface inférieure, si on ne le dévioit pas un peu. On l'inclinera donc légérement en cet endroit, mais de façon que toute sa projection horizontale soit en ligne droite; et on le continuera de la sorte, sans aucun nouveau coude, sur tout le reste de sa longueur, à moins qu'on ne veuille le terminer par un crochet. Malgré que le coude soit très-peu sensible, on en augmentera la force par un renflement; ce qui n'empêchera pas d'employer plusieurs goujons de fer, pour relier, comme à l'ordinaire, le tirant avec la maçonnerie.

Le tirant, ainsi établi, remplira évidemment son objet, au moins aussi bien que ceux qu'on place horizontalement. Car, le coude étant fortifié de manière à être la partie la plus résistante de la barre de fer, et à ne pouvoir casser; il empêchera la sortie du tirant, et rendra solidaire avec ce dernier une plus grande partie de la maçonnerie.

Quant au second tirant, l'inclinaison de trente degrés environ avec le mur de face, adoptée par M. Gauthey au Canal du centre, permettroit d'y donner une longueur suffisante, sans qu'il rencontrât le siphon; ainsi on n'auroit point à le courber, dans l'écluse que nous avons prise pour exemple. Dans les écluses à haute chute, il faudroit peut-être incliner un peu plus ce second tirant vers le bajoyer; afin de le conserver horizontal, et de n'avoir point à le faire passer sous le siphon. Loin d'être un inconvénient, cette disposition présente un avantage; puisqu'il en résulte une plus grande résistance pour s'opposer au poids de la porte, quand elle est rangée dans son enclave. C'est probablement cette considération qui a déterminé M. Hageau, dans les écluses du Canal de la Meuse au Rhin, pour lesquelles il n'avoit point la sujétion que nous nous sommes donnée, à réduire à environ cinq degrés l'angle du second tirant avec le mur de face. En adoptant cette direction, et même celle qui feroit un angle de dix degrés, il s'en faudra de beaucoup que le tirant, quoiqu'en ligne droite, puisse jamais rencontrer le tuyau de fonte.

Nous devons encore prévenir une autre objection qui pourroit être faite. L'évacuation spontanée, d'environ la moitié de l'air contenu dans le siphon,

Digitized by Google

peut donner à l'eau un mouvement assez brusque, pour la faire agir contre la soupape inférieure de la pompe, et en déranger le jeu. En observant ce qui se passe dans un tube de verre, au moment dont il s'agit, nous n'avons pas remarqué que la secousse fût considérable, à l'endroit où sera placée la pompe. Néanmoins, et tout en supposant qu'on adoptera, pour la soupape inférieure, le système le plus solide; nous avons un peu élevé le tuyau qui porte le corps de pompe, en partie par cette considération. Si l'expérience prouvoit que cette précaution ne suffit pas; on fixeroit dans le tuyau une grille, ou mieux encore un panier ou un double panier de fer à jour; lequel permettroit l'évacuation de l'air, et cependant romproit le choc brusque du liquide

Nous avons dit plus haut que la vîtesse acquise par l'eau, en traversant un siphon, se répartit à peu près uniformément sur toute la coupe horizontale de la boîte, ce qui diminue tellement cette vîtesse, qu'elle ne peut plus être nuisible, à la hauteur où l'eau sort des renfoncemens; et nous avons annoncé un moyen de rendre encore plus uniforme cette répartition. Le voici.

L'eau trouvant, pour sortir de la boîte, un chemin plus direct sur le devant que par derrière; elle doit acquérir du premier côté une vîtesse un peu plus grande. Ainsi, pour rétablir l'uniformité de répartition, il faudroit faciliter un peu plus la sortie de l'eau du côté de la maçonnerie que du côté du sas. C'est à quoi l'on parviendroit, en terminant la branche descendante du siphon à une courbe déterminée par l'intersection de cette branche avec un plan incliné vers le sas. Des expériences, faites sur les trois ou quatre premières écluses qu'on construiroit, feroient connoître l'inclinaison qu'on doit donner à ce plan, pour résoudre à peu près le problème. Mais nous répétons que ce perfectionnement nous paroît assez indifférent; à cause de la capacité que la boîte de fonte présente du côté du sas, et aussi à cause de la hauteur des plaques sur le devant.

On a dû remarquer que nous avons établi le radier des épaulemens d'aval, à la hauteur du fond de la chambre des portes. Nous aurions pu également le mettre de niveau au busc, en laissant toujours le fond de la boîte d'aval déprimé de 0^{m}, 55 au-dessous de ce dernier, et en raccordant ce fond avec

Digitized by Google

le radier, comme au siphon supérieur, par un plan incliné un peu plus long. Dans le cas où l'on préféreroit cette disposition, afin de fortifier davantage le chardonnet, nous conseillerions de donner aux premières tablettes du radier la même épaisseur qu'au busc. Pour ne point augmenter l'emploi des gros matériaux, on pourroit encore placer sous les premières tablettes un rang de libages proprement ébauchés.

Nous terminerons ce premier mémoire par une observation qui n'est point particulière à notre système, et qui s'applique aussi bien à toutes les écluses. Lorsque dans un bief on manœuvre avec plus de rapidité à l'écluse d'aval qu'à celle d'amont, et encore mieux quand on ouvre les vannes ou les clapets de la première pour alimenter les parties inférieures du canal, on fait baisser l'eau entre les deux écluses. Cela posé, s'il n'y a guère plus d'eau qu'il n'en faut pour la navigation, il est possible que l'eau baisse assez pendant la manœuvre de l'écluse supérieure, pour qu'un bateau se trouve arrêté sur le busc d'aval de cette écluse, lorsqu'il est en partie entré dans le sas ou qu'il en est sorti en partie : cela arrive sur-tout aux bateaux qui sont moins chargés du devant que du derrière. Dans ce cas, si l'eau qu'on tire des vannes ou des siphons ne suffit pas pour relever de suite le bateau, le busc court le plus grand risque d'être écorné ou déplacé, et il peut en arriver autant à quelques pierres du radier. Pour éviter cet accident, nous croyons devoir conseiller de placer, dans la rainure la plus voisine du busc d'aval, deux poutrelles d'une épaisseur telle, que la face supérieure de la seconde soit à trois centimètres au-dessus du busc. Par ce moyen, les bateaux qui heurteront contre la poutrelle supérieure, ou qui s'arrêteront dessus, seront avertis de reculer et de rentrer dans le sas ou dans le bief. Et comme la rainure est trop proche du busc et de la platebande qui termine l'écluse, pour que le fond d'un bateau puisse avoir trois centimètres de pente sur une aussi petite longueur, les bâtimens ne pourront jamais toucher la maçonnerie inférieure.

Le busc d'amont n'est pas aussi exposé que celui d'aval, à recevoir le choc des bâtimens, ni à ce qu'ils viennent se reposer sur lui. Car, sauf le cas de filtrations considérables, l'éclusier est bien plus maître des eaux du bief supérieur. Cependant ces employés sont quelquefois assez négligens pour

Digitized by Google

ne pas faire attention à la hauteur de leur bief, avant de faire passer un bateau sur le mur de chute, ce qui peut occasioner un choc. Il peut même en résulter un arrêt, dans la supposition d'un bateau plus chargé en arrière qu'à la proue.

Si le danger est moins probable en amont, les suites peuvent en être beaucoup plus graves. En effet, le choc se dirige au vide dans le cas d'un bateau descendant. Et dans tous les cas, si un bateau s'arrête sur le busc, et si le marinier, au lieu de faire rétrograder tout de suite son bâtiment, force pour le faire passer; il peut arriver que l'eau baisse un peu par l'effet des filtrations, et qu'on ne puisse pas plus manœuvrer en arrière qu'en avant, jusqu'à ce qu'on ait tiré de l'eau du bief supérieur. Mais pendant qu'on va en faire lâcher, le bief peut baisser encore, ce qui expose les pierres du busc à être écrasées et le bateau à se rompre. On doit conclure de là qu'il seroit prudent de placer aussi, dans la rainure la plus voisine du busc d'amont, des poutrelles dont la face supérieure seroit de trois centimètres au-dessus du busc.

En armant de fer la face supérieure des poutrelles placées à la tête d'amont et à la tête d'aval, on seroit assuré que les mariniers feroient attention à ce que leurs bateaux ne traînassent point dessus.

Digitized by Google

NOTE PREMIÈRE.

SUR LE TEMPS NÉCESSAIRE A LA MANŒUVRE DES NOUVEAUX SIPHONS, ET SUR L'ÉCOULEMENT DES LIQUIDES PAR DES SIPHONS EN PARTIE PLEINS D'AIR.

DANS le cours du mémoire qu'on vient de lire, nous pensons avoir démontré que les siphons renversés, tels que nous les proposons, sont bien préférables aux siphons ordinaires construits jusqu'ici; qu'ils réunissent tous les avantages de ces derniers, sans avoir aucun des défauts graves qui en ont empêché l'adoption générale; et que les inconvéniens plus légers ont également disparu, ou sont tellement diminués, qu'ils ne sont plus d'aucune conséquence. Ce n'est pas que nous présentions le nouveau système comme exempt d'imperfections. L'usage en fera surement connoître, si l'on consent à essayer notre procédé; mais il nous semble qu'elles seront bien moindres, que dans tous les autres modes employés pour emplir et pour vider les écluses. La seule objection qui nous paroît pouvoir être présentée, quant à présent, est relative au temps nécessaire pour évacuer entièrement l'air des siphons, et conséquemment pour donner à l'eau toute la vîtesse qui doit résulter de la différence des niveaux. Nous allons tâcher de prouver que ce temps n'est pas assez considérable, pour qu'il doive faire rejeter les siphons renversés.

Pour parvenir à notre but, le premier moyen qui se présente est d'établir une théorie générale des siphons: en partant d'abord de la supposition où ils contiendroient dans leur intérieur une certaine quantité d'air; et en supposant ensuite que cet air soit graduellement aspiré par une force extérieure. On auroit à déterminer, en fonction de la masse du fluide élastique contenu dans les tuyaux: 1°. La quantité d'eau écoulée à chaque instant. 2°. La différence entre la pression athmosphérique et le ressort du fluide aëriforme qui presse la

Digitized by Google

soupape inférieure de la pompe, différence qui constitue la résistance. 3°. La quantité d'air que l'eau entraîne à chaque instant, et qui diminue, d'une manière naturelle, la masse du fluide élastique renfermé dans le siphon. 4°. Le moment précis où l'eau auroit acquis une vîtesse capable de faire sortir en masse tout le reste de l'air intérieur.

Ce problème, pour être résolu rigoureusement, présenteroit des difficultés très-grandes, et au-dessus des ressources que nous offre l'analyse. Non-seulement il se compliqueroit de l'écoulement des liquides par de grands orifices, et du mouvement dans un canal découvert; mais il faudroit faire entrer, dans la solution, la considération d'une pression variable exercée par l'air intérieur, et les oscillations de cette masse d'air. Car, en supposant même qu'on cessât de pomper, nous verrons bientôt que l'air intérieur, sollicité par des pressions et des impulsions inégales, prend un mouvement vibratoire continuel. Nous ne tenterons point d'essayer, contre un semblable obstacle, des forces bien insuffisantes; et ce que nous avons à dire, nous nous bornerons à l'appuyer sur une théorie commune: laquelle n'a peut-être pas échappé à ceux qui ont fait habituellement usage des siphons, principalement pour les expériences de physique et de chimie relatives aux gaz. Néanmoins, comme quelques-uns de nos lecteurs pourroient n'avoir jamais tourné leurs pensées vers cette matière: nous allons leur présenter des expériences que nous venons de faire; et qui peuvent se répéter par-tout où l'on trouve quelques tubes de verre, et du feu pour les courber. Nous regrettons de n'avoir pu y apporter la précision qui auroit résulté d'échelles graduées, mobiles le long des tubes; mais nous avons manqué, pour cela, de temps et d'ouvriers assez intelligens. D'ailleurs, les fractions de millimètre, qui seroient d'une grande importance pour établir une théorie exacte, nous sont ici fort indifférentes.

Tout notre appareil se compose des pièces suivantes: 1°. Un tube de verre de vingt et un millimètres de diamètre, courbé en forme de siphon, à peu près comme dans la figure 1 de la première planche (1), et dont la

(1) La plupart des expériences qui suivent ont été répétées avec des siphons de verre ou de fer-blanc, dont la figure étoit différente. La forme qu'on a dessinée ici a été choisie comme plus commode, pour quelques-unes des opérations dont on parlera dans la suite.

Digitized by Google

branche la plus longue a 38 centimètres. Ce tube est enchâssé, vers le milieu de la partie horizontale, dans une virole portant une plaque de fer-blanc; et cette plaque peut glisser à volonté dans une rainure pratiquée à une des douves d'un baquet. Par ce moyen, la petite branche du tube s'enfonce plus ou moins dans l'eau du baquet, tandis que la plus grande descend dans l'eau que contient un autre vase placé plus bas (1). 2°. Un petit tuyau de fer-blanc, coudé de façon qu'en l'introduisant par la branche courte, il parvienne assez avant dans la branche horizontale pour pouvoir en évacuer l'air complétement, à l'aide de la succion. Si la courbure du siphon ne permettoit pas d'y faire entrer assez profondément un semblable aspirateur; on pourroit adapter, au bout de ce dernier, un tuyau flexible, en cuir ou en résine élastique. 3°. Plusieurs tubes de verre coudés: dont les uns sont droits à leur extrémité, pour mesurer le ressort de l'air dans la grande branche verticale du siphon; et dont les autres sont terminés par de petits tuyaux en fer-blanc, qu'on a destinés à pénétrer, soit par la grande, soit par la petite branche (2), en différens points de la branche horizontale, afin d'y mesurer aussi la pression de l'air. On peut également remplacer, avec avantage, le fer-blanc par du cuir ou du caoutchouc (3).

Les tubes de verre que nous nous étions d'abord procurés avoient de huit à onze millimètres de diamètre extérieur; ce qui est un peu trop gros pour la facilité des expériences, relativement au diamètre de nos siphons. Nous leur avons depuis substitué des tubes plus minces.

Les appareils, que nous venons de décrire sommairement, sont représentés dans la première planche. Si leur usage ne sembloit pas assez évident,

---

(1) Nous appellerons indifféremment vase, baquet ou réservoir supérieur, celui dans lequel est plongée la petite branche du siphon; et nous donnerons le nom d'inférieur à celui où plonge la longue branche.

(2) Nous désignerons la branche la plus courte sous les noms de tube ou branche ascendante, et de branche supérieure. Les noms de tube ou branche descendante, et de branche inférieure, seront appliqués à la longue branche du siphon. Nous donnerons aussi quelquefois à la branche horizontale le nom de tuyau de communication.

(3) Les tuyaux additionnels doivent être taillés en bec de flûte, avec leur ouverture tournée vers la partie supérieure, pour pouvoir plonger dans l'air aussi long-temps que le permet leur position.

Digitized by Google

il faudroit consulter l'explication de cette planche, laquelle se trouvera à la fin des notes.

Le siphon étant, de chaque côté, plus ou moins immergé dans l'eau; si l'on aspire entièrement l'air qu'il contient, le liquide passera d'un vase dans l'autre, avec une vîtesse due à la différence des niveaux: c'est l'expérience la plus commune. Mais si l'on évacue l'air par petites parties, et qu'à chaque fois on retire doucement l'aspirateur, sans agiter l'eau; voici les effets qu'on observera, et que le raisonnement indique assez, pour qu'on eût pu se passer d'avoir recours à de nouvelles observations.

L'eau commencera par s'élever dans les branches verticales; et sa hauteur sera la même dans toutes deux, jusqu'au moment où le liquide aura atteint, dans la plus petite, la génératrice inférieure du cylindre qui forme la branche horizontale. Dans cet état, il résulte des principes les plus simples de l'hydrostatique, que le ressort de l'air intérieur est égal à la pression de l'athmosphère, diminuée de celle qu'exerceroit la colonne d'eau soulevée. Si l'on fait sortir de nouveau une foible quantité d'air, et qu'on cesse d'aspirer; la pression extérieure redeviendra la plus forte, et il montera encore une petite hauteur d'eau dans chaque branche. L'eau s'élevant de la sorte, par la branche courte, au-dessus du fond du tuyau de communication, elle y prendra une légère pente pour aller couler dans la longue branche; et l'expérience prouve qu'elle le fait en tapissant celle-ci tout autour, et en laissant au milieu une colonne d'air. Cette eau, qui tombe sur celle déjà élevée, la presse et la fait redescendre; et comme l'eau affluente est continuellement renouvelée, il n'en monte plus par la grande branche, qui donne au contraire passage à un écoulement, d'abord fort petit, de l'eau du réservoir supérieur.

Pour peu qu'on continue à raréfier l'air intérieur, l'eau s'élevera davantage, à l'aplomb de la branche ascendante, et elle prendra une plus grande pente dans la branche horizontale du siphon; sans que cette pente cesse jamais pour cela d'être beaucoup plus forte, dans la partie qui est verticalement au-dessus du tuyau montant, que sur le reste de la longueur. On peut voir, dans la figure 1 de la première planche, la forme que prend, à peu près, la surface de l'eau dans ces premiers instans, et celle qu'elle af-

Digitized by Google

fecte après les succions suivantes. Cependant, le liquide continue toujours à ne couler que le long de la paroi intérieure de la branche descendante; mais la vîtesse étant un peu augmentée, elle se communique aux molécules de la colonne d'air, qui sont les plus voisines de l'eau environnante; et cette eau entraîne avec elle des bulles d'air, qu'on voit sortir dans le second baquet (1). Cet effet, d'abord très-foible, tant que l'eau ne s'élève pas à une certaine hauteur dans la branche horizontale, seroit bien plus sensible dans un tube de fonte qui présenteroit des aspérités; et il doit augmenter aussi, avec la hauteur de laquelle tombe l'eau dans la longue branche. Tel qu'il est, il commence déjà à faire écouler naturellement une petite partie de l'air intérieur, et il finiroit par l'épuiser totalement.

Si l'on fait sortir, à plusieurs reprises, de nouvelles quantités d'air, on verra à chaque fois tous les phénomènes précédens augmenter d'intensité: savoir, la pente de l'eau dans la branche horizontale; la vîtesse de l'écoulement; l'épaisseur de la lame d'eau descendante qui tapisse la longue branche du siphon; et enfin le dégagement des bulles d'air, qui deviennent très-grosses et très-fréquentes, principalement quand la colonne d'eau aspirée atteint toute la paroi qui est au-dessus d'elle. Alors, il se mêle des jets irréguliers dans la colonne d'air de la branche descendante, ce qui contribue encore à l'expulsion naturelle du fluide élastique; et à mesure que le volume de ce fluide diminue, soit par de nouvelles succions, soit par sa sortie naturelle, l'eau ascendante occupe graduellement, sur une plus grande longueur, toute la capacité du tube horizontal.

Quand la section de la branche horizontale se trouve entièrement remplie par l'eau, jusqu'au delà de la moitié de sa longueur, on voit augmenter prodigieusement l'intensité des phénomènes: la colonne d'eau, soutenue par l'air extérieur dans la branche descendante, étoit, dès le commencement de l'écoulement, devenue moins haute que celle élevée par la même cause dans la branche ascendante; mais alors, elle reçoit une telle impulsion par la chute de l'eau supérieure, qu'elle s'abaisse bien au-dessous du niveau du

(1) Pour éviter les circonlocutions, nous appellerons encore second vase, second réservoir ou second baquet, celui où l'eau s'écoule: réservant le nom de premier pour le vase supérieur.

Digitized by Google

deuxième baquet; et la colonne d'air qui la suit, se prolongeant dans son intérieur sous la forme d'une espèce de cône ou d'hyperboloïde, ce fluide élastique sort en grande quantité avec l'eau. Arrivé à ce point, de nouvelles aspirations deviennent inutiles, pour hâter le moment où l'eau sera seule en possession de l'intérieur du siphon. Car, la vîtesse du liquide s'accélérant avec l'écoulement de l'air qu'il entraîne par la longue branche, il chasse devant lui, et en masse, toute la colonne de fluide athmosphérique, qui occupoit encore plus de la moitié de la capacité intérieure de la machine, en sorte que l'eau commence à couler à plein tuyau.

Pour plus de clarté, on a omis, dans ce qui précède, une circonstance de la dernière importance. C'est celle de la pression éprouvée par l'air intérieur, dans les diverses positions que nous venons d'examiner.

Conformément aux lois de la statique des fluides : tant que l'écoulement n'a pas commencé, nous avons dit que la pression de l'air intérieur est mesurée par une colonne d'eau qui feroit équilibre au poids de l'athmosphère, diminuée de la hauteur dont l'eau s'élève dans l'une quelconque des branches du siphon. Mais cette règle n'a plus d'application, aussitôt que le mouvement est établi. En effet, bien que l'air soit évidemment plus raréfié, nous avons vu que la colonne d'eau soutenue dans la longue branche va toujours en diminuant, et qu'elle finit par devenir négative; c'est-à-dire que l'eau est refoulée au-dessous du niveau du deuxième baquet, au lieu d'être aspirée. Pour ce qui est de la colonne contenue dans la branche ascendante, on peut également douter si la pression qu'elle transmet résulte de la différence entre sa hauteur, et celle à laquelle l'athmosphère soutiendroit l'eau dans un vide parfait: puisque sa vîtesse peut la faire échapper en partie à la pression de l'air extérieur; tandis que cette même vîtesse est au contraire une cause qui doit contribuer à la compression de l'air intérieur. Un raisonnement fort simple prouveroit cependant assez bien que ces deux effets se compensent à peu près; et que la règle a lieu, quant à la branche ascendante. En effet, supposons pour un moment l'eau solidifiée, et qu'à l'instant où la liquidité lui est rendue, elle éprouve, de la part de l'air intérieur, une pression plus grande que la différence dont il est question : comme il n'y a point de mouvement acquis, il est hors de doute que l'eau sera repoussée et con-

Digitized by Google

trainte de monter moins haut. Si au contraire la pression étoit plus petite, elle ne pourroit pas faire équilibre à la force qui vient animer la surface supérieure du liquide, et qui, dans le premier instant, est égale à la différence mentionnée : ainsi l'air n'auroit pas été assez comprimé dès l'abord.

Il resteroit cependant à répondre à une objection fort embarrassante. Comment pouvez-vous estimer, diroit-on, la hauteur de la colonne d'eau soutenue? puisque la surface supérieure de cette colonne n'est point horizontale, et qu'il en résulte conséquemment des pressions qui varient d'un point à l'autre : de telle sorte que l'air intérieur ne pourroit à la fois faire équilibre à toutes ces pressions, sans manquer à la loi de son propre équilibre, qui exige l'égalité de ressort de toutes ses parties. Ne doit-on pas conclure de là, que l'air intérieur ne peut demeurer en repos : qu'il oscille continuellement, et que la surface qui le sépare de la masse d'eau en mouvement change de forme à chaque moment, en vertu des pressions les plus fortes, et des restitutions qui en sont la suite? Ce raisonnement est sans réplique, et prouve que la question ne pourroit être résolue rigoureusement que par une analyse très-difficile. Bornons-nous donc à ce que nous apprendra l'expérience, sur le ressort moyen de cette masse d'air, que le mouvement de l'eau entretient dans un état continuel de vibration.

L'objection qui vient d'être exposée mène naturellement à parler d'un fait remarquable. C'est la réalité, prouvée par l'expérience, des oscillations à la connoissance desquelles on a été conduit par le raisonnement. En effet, dans tous les essais que nous avons tentés, aussitôt que l'eau a eu commencé à couler, malgré que nous ayons pris toutes sortes de précautions, pour nous assurer qu'aucune influence étrangère n'agissoit sur la surface du liquide, jusqu'à y étendre un linge pour en détruire parfaitement les ondes; nous avons toujours vu osciller la colonne d'eau soulevée, ainsi que la surface d'air qui la termine. Les vibrations sont d'autant plus fortes qu'il y a moins d'air dans le siphon, et que l'eau y coule avec plus de rapidité. Elles atteignent leur maximum, quand on approche de l'instant où l'eau doit elle-même expulser spontanément tout le reste de l'air intérieur : alors, elles deviennent telles, que l'air semble occuper par moment, sur une certaine longueur, toute la capacité de la branche descendante, et que l'extrémité

Digitized by Google

de la colonne d'air sort à chaque fois hors du tube. Enfin, c'est dans une de ces oscillations, devenues fort brusques, que cette colonne est entièrement évacuée.

Nous devons faire observer que le mouvement oscillatoire est singulièrement favorable, à l'évacuation naturelle du fluide élastique renfermé dans le siphon. Pour s'en assurer, il suffit de remarquer que la portion de ce fluide contenue dans la branche horizontale, lorsqu'elle se porte vers l'aval, communique une partie de son mouvement à l'eau et à l'air qui descendent par la branche inférieure, ce qui contribue à faire sortir une plus grande quantité d'air; tandis que la sortie de ce dernier fluide accélère la vitesse de l'eau qui traverse le siphon, et augmente aussi le mouvement oscillatoire. On voit donc que c'est une cause qui s'accroît par son effet même.

Au reste, tant que l'écoulement n'est pas rapide, le mouvement oscillatoire paroît affecter les surfaces qui séparent l'air et l'eau, bien plus que la masse de l'air. Cette assertion est la conséquence d'une expérience, qui mérite d'être renouvelée avec un appareil moins imparfait que le nôtre : la voici. Par celle des deux branches verticales pour laquelle elle est construite, on introduit une des éprouvettes dessinées dans la première planche; et l'on fait en sorte que l'orifice du tuyau de fer-blanc soit plongé dans l'air que renferme le siphon. L'eau de cette éprouvette prend aussitôt un mouvement d'oscillation; qui ne peut être attribué qu'à celui de l'air intérieur avec lequel elle est en communication, et aux variations de la pression qui en sont la suite. Or, ce mouvement de l'eau, dans l'éprouvette, nous a semblé bien moindre lorsque l'extrémité du tuyau de fer-blanc se trouve au milieu de la masse d'air, que lorsqu'il est voisin de la surface qui sépare l'air et l'eau.

Revenons à la tension moyenne du volume d'air que contient le siphon. Le procédé est bien simple pour la mesurer approximativement : il ne s'agit que de verser un peu d'eau dans les diverses éprouvettes, et d'introduire ensuite séparément chacune d'elles, par la branche pour laquelle elle a été courbée, de façon que l'ouverture du tuyau de fer-blanc se trouve toujours dans l'air du siphon, et successivement dans tous les points que

Digitized by Google

ce fluide occupe, soit dans la branche descendante, soit dans la branche horizontale, soit enfin à l'aplomb de la branche ascendante, quand l'eau ne remplit pas cette partie.

Quel que soit, dans la masse d'air intérieure, le point dont on éprouve le ressort : tant que l'écoulement ne se fait pas avec une grande vîtesse, nous avons constamment trouvé, sauf les oscillations précitées, que la différence de niveau, dans les deux branches de l'éprouvette, est à peu près moyenne entre la plus grande et la moindre élévation de l'eau à l'aplomb de la branche ascendante du siphon; et qu'elle paroît égale à ladite élévation, mesurée dans l'axe de cette dernière branche. Cependant, cette égalité parfaite, ou la différence, si elle existe, ne pourroit être prouvée que par des expériences plus exactes. Il faut encore remarquer que l'eau de l'éprouvette se tient un peu moins élevée, lorsque l'extrémité de cet instrument est placée à l'intérieur de la branche descendante; de même que l'eau du vase inférieur monte moins haut dans le siphon. On verra tout à l'heure l'explication de ce phénomène.

L'air renfermé venant à diminuer davantage, par la succion ou par l'évacuation naturelle, les effets qu'on vient de décrire se continuent dans la branche horizontale. Il y a seulement cette différence, que si l'eau remplit complétement le coude formé par la branche ascendante, et si l'orifice de l'ajutage en fer-blanc est placé très-près de l'endroit où elle occupe toute la section verticale du siphon; un moment avant que cette eau vienne mouiller le fer-blanc, on voit baisser sensiblement celle de l'éprouvette : ce qui doit être attribué au mouvement communiqué par l'eau intérieure, lequel ajoute une nouvelle force à la pression de l'air. Quant à la branche descendante, l'eau se soutient bien moins haut dans l'éprouvette dont une des extrémités y est introduite; et à mesure que l'air s'évacue, l'éprouvette marque même une pression plus forte en dedans qu'en dehors, ce qui tient à la vîtesse communiquée à la colonne d'air, laquelle réagit sur l'eau contenue dans le tube recourbé. Il vient enfin une époque où un jet liquide se sépare de la surface du siphon, se dirige sur ce tube, chasse l'eau en dehors, et continue lui-même à y couler. Cela fait un spectacle assez agréable, pour les gens qui n'y regardent pas de trop près : car, il

Digitized by Google

y a des circonstances où l'on croiroit voir l'eau jaillir réellement de la colonne d'air, dans laquelle une des extrémités de l'éprouvette est plongée.

Le volume de l'air renfermé dans le siphon continuant à diminuer, et l'eau remplissant entièrement la section de la branche horizontale, sur une longueur qui va toujours en croissant : nous avons répété les expériences précédentes, en ayant soin que l'éprouvette fût successivement en communication directe, avec diverses parties de l'air contenu dans la branche horizontale; mais qu'elle ne fût pas trop voisine de la masse d'eau ascendante, dont le mouvement influe, comme nous l'avons dit, sur les résultats. A chacun de ces essais, la colonne d'eau soutenue dans l'éprouvette, par la différence des pressions extérieures et intérieures, a été mesurée au milieu de ses petites oscillations ; et nous l'avons trouvée égale à la hauteur la plus grande où l'eau s'élève dans le tube horizontal : ou du moins, s'il existoit une légère différence négative, celle de trente-trois à quarante centimètres, entre les niveaux des deux baquets, ne la rendoit pas susceptible d'être appréciée avec nos instrumens.

Un des côtés de l'éprouvette étant plongé dans la colonne d'air qui occupe le milieu de la branche descendante, et l'eau ayant une fois commencé à jaillir par l'autre côté : l'expérience, d'accord avec le raisonnement, fait voir que le jet ne cesse de croître, et qu'il paroît avoir la plus grande force quand l'air intérieur est complétement expulsé.

De tous les faits qui viennent d'être exposés, on doit tirer cette conclusion : que la différence entre la pression de l'atmosphère et la pression moyenne de l'air renfermé dans la branche horizontale d'un siphon, peut toujours être mesurée, sensiblement, par la plus grande hauteur à laquelle l'eau s'élève dans cette branche, au-dessus du réservoir supérieur; et que cette évaluation est même un peu trop forte, au commencement de l'écoulement (1).

Ce principe étant établi, revenons à l'objet principal dont nous avons à trai-

(1) Pour ne point rompre le fil des idées par une digression, nous renvoyons, à une seconde note, les phénomènes de pression négative qui se sont offerts à nous dans le cours de ces expériences, et qui peuvent présenter des applications utiles à plusieurs arts. Ils éclairciront et compléteront en outre ce que nous venons de dire sur le ressort de l'air intérieur.

Digitized by Google

ter. Dans la construction qui nous occupe, la pompe à air a été placée à l'extrémité de la branche horizontale, au-dessus de la partie la plus reculée de la branche descendante : Il résulte, de ce qui précède, que cette disposition permet d'évacuer totalement l'air dont le siphon est rempli; et aussi, que la plus grande différence qui puisse exister entre la pression de l'atmosphère et celle exercée par l'air intérieur contre le piston, est mesurée par une colonne d'eau, dont la hauteur seroit égale à la distance qui sépare le niveau du bief supérieur et la génératrice la plus élevée du cylindre creux horizontal. D'ailleurs, la différence des pressions est nulle quand on commence à faire agir la pompe; nous pouvons donc supposer, par une approximation suffisante pour notre objet, que la résistance moyenne, éprouvée par le piston, est égale à la pression d'une colonne d'eau qui auroit la moitié de cette hauteur : de sorte que l'épuisement de l'air se fera à peu près comme si l'on avoit à élever de l'eau à ladite demi-hauteur.

D'après les dimensions que nous avons indiquées, les deux biefs étant supposés pleins, le cube d'air à épuiser dans le siphon d'amont seroit d'environ $1^{m.c.}$, 95, si une grande partie de cet air ne s'évacuoit pas spontanément par le mouvement de l'eau; et ce cube seroit de $2^{m.c.}$, 08, en supposant que l'eau du bief supérieur fût à 0^{m},40 du sommet des portes. De plus, la pression moyenne seroit de 0^{m}, 325 dans le premier cas, et de 0^{m}, 525 dans le second : l'effet utile à produire peut donc être évalué à 0,634 grandes unités dynamiques dans les eaux ordinaires, et à 1,092 dans les eaux basses. Or il suit des expériences de M. Coulomb, bien moins favorables que celles de M. de Perronet, qu'un homme appliqué à une manivelle, et travaillant continuellement, exerce en six heures de temps une action qui peut être évaluée à 118 de ces unités; ce qui donne 1',93 pour produire le premier effet, et 3',33 pour produire le second. Mais la petitesse de la résistance, et conséquemment la simplicité de la machine à employer, seront cause qu'il n'y aura guère d'efforts de perdus; d'ailleurs, l'action qu'un homme reposé développe en quelques minutes est bien plus grande, proportionnellement au temps, que celle qu'il peut continuer pendant six heures. On ne doit donc pas craindre d'estimer qu'un éclusier videroit totalement d'air chaque siphon en une ou deux minutes, selon la hauteur du bief

Digitized by Google

supérieur, supposé navigable. En effet, s'il n'y a qu'un bateau à passer à la fois, l'éclusier sera reposé; et s'il y en a plusieurs, il fera pomper successivement par les mariniers qui attendront le passage, et qui seront dans un semblable état de repos antérieur. Dans ce cas, il pourra même employer un ou deux hommes à chaque siphon, pour aller plus vîte.

Tout ce qu'on vient de dire des siphons d'amont peut s'appliquer à ceux d'aval: car la longueur de la branche horizontale diffère si peu, dans les uns et dans les autres, que le temps doit être sensiblement le même pour les vider.

Ces considérations nous portent à regarder une et deux minutes, comme les maxima du temps nécessaire à l'épuisement de l'air d'un siphon, si l'eau n'en expulsoit pas une partie. Mais d'après les expériences précédentes, le mouvement de l'eau fera sortir de l'air, presque dès les premiers coups de piston; et la moitié du fluide athmosphérique intérieur ne sera pas encore évacué, quand le reste sera entraîné en masse. Enfin, l'air qui s'en ira spontanément est précisément celui qui auroit exigé la plus grande dépense de force; puisque c'est celui qui auroit éprouvé le maximum de raréfaction. On croit donc pouvoir réduire à quarante secondes et à un peu plus d'une minute le temps nécessaire pour procurer à plein l'écoulement de l'eau, dans les deux cas qui ont été supposés.

Nous devons encore faire observer que la manœuvre ne se feroit guère moins promptement, dans les écluses dont la chute seroit plus considérable. Car l'évacuation subite et naturelle de l'air dépend principalement de la longueur de la branche horizontale, et de la différence de niveau entre l'eau du bief supérieur et la génératrice inférieure de la concavité de cette branche. La hauteur de la chute pourroit même accélérer cette évacuation, en augmentant la vîtesse du liquide.

On fera encore deux autres remarques bien essentielles: la première, que le temps employé à chasser l'air est loin d'être tout-à-fait perdu; puisque l'eau coule en assez grande quantité, avant de trouver le passage parfaitement libre. Le seconde, qu'il n'est besoin du débouché complet des siphons, que pour achever de remplir ou de vider l'écluse. En effet, on auroit fait assurément l'économie de diminuer l'ouverture des ventelles et des siphons établis jus-

Digitized by Google

qu'ici, si les sas achevoient de s'emplir et de se vider aussi rapidement qu'ils le font en commençant. Mais la vîtesse de l'eau diminue beaucoup sur la fin, lorsqu'on est arrivé au point où le niveau diffère peu, entre le bief supérieur et le sas qu'on emplit, ou entre celui-ci qu'on vide et le bief inférieur. De plus, les filtrations des portes d'aval dans le premier cas, et celles des portes d'amont dans le deuxième, étoient nulles au commencement, au lieu qu'elles sont à leur maximum à la fin de l'opération. C'est donc pour cela seulement qu'on fait passer l'eau par d'aussi grandes ouvertures, et conséquemment elles n'ont besoin d'être entièrement libres qu'au bout de quatre ou cinq minutes, quand le sas est près d'être plein ou d'être vide.

Les expériences rapportées ci-dessus font connoître une autre cause qui accélère encore l'évacuation spontanée de l'air, et que nous n'avons point fait entrer dans les calculs précédens : c'est la secousse irrégulière communiquée par le mouvement du piston. Car nous avons vu que tous les ébranlemens hâtent la sortie du fluide élastique. Sous ce rapport, un corps de pompe simple conviendroit peut-être mieux que s'il étoit double, comme donnant des chocs plus irréguliers.

Les calculs que nous venons de faire n'étant fondés que sur des approximations, il est possible que quelques personnes portent plus haut l'évaluation du temps employé à faire couler l'eau à plein dans les siphons. Mais comme elles ne pourroient pas supposer ce temps beaucoup plus long; ce ne seroit point une raison d'abandonner un projet utile, si l'on n'y voyoit que ce défaut : ce seroit plutôt un motif d'en chercher le remède. En admettant l'objection, on ne la présentera surement que dans la supposition d'un passage interrompu; car, nous avons dit, dans le cas du passage de plusieurs bateaux, qu'on ne manque pas du nombre de bras nécessaires pour épuiser l'air avec rapidité. Supposons donc qu'il ne passe qu'un bâtiment, que l'éclusier ait à manœuvrer lui-même successivement les deux siphons (1), et que le temps nécessaire pour cela soit réellement un peu plus long que nous n'avons calculé. Ne pourroit-on pas, aux rouages dont la pompe

(1) Cette supposition est presque absurde, à force de nous être défavorable. Car le marinier restant dans son bateau, l'homme qui y est attelé, ou qui conduit le cheval, peut se mettre à un siphon, tandis que l'éclusier est à l'autre.

Digitized by Google

reçoit le mouvement, adapter pour cette circonstance un engrenage amovible, qui les feroit communiquer avec d'autres rouages, par l'intermédiaire desquels un poids considérable, élevé d'avance à un ou deux mètres de hauteur, aideroit d'un côté l'éclusier à faire mouvoir une des pompes; tandis qu'un poids semblable agiroit tout seul sur la pompe du siphon opposé, pour commencer à expulser l'air. Ce poids feroit d'ailleurs en partie l'effet d'un volant, pour régulariser le mouvement et empêcher les ressauts de la machine. Au reste, nous répétons que nous croyons ce secours auxiliaire parfaitement inutile, ainsi que d'autres qu'on pourroit encore imaginer.

Nous ne pouvons toutefois nous empêcher de parler d'un autre moyen de hâter l'évacuation de l'air : et parce qu'il est bien plus simple que le précédent, et parce qu'il est une conséquence naturelle des expériences relatives aux siphons qui renferment un fluide aériforme. Toutes les expériences que nous avons faites, d'accord avec la théorie, font voir que la sortie spontanée du fluide élastique est d'autant plus retardée, que la longue branche plonge davantage dans le réservoir inférieur. On avanceroit donc le moment où cette sortie doit livrer entièrement la capacité des tuyaux au passage de l'eau, si l'on pouvoit raccourcir la branche descendante des siphons de nos écluses. Ce raccourcissement seroit sujet à de graves inconvéniens; mais on peut y suppléer par l'addition d'un tuyau d'un diamètre moindre que celui du siphon, fondu avec ce dernier, et qui en feroit communiquer l'intérieur avec le renfoncement d'aval, un peu au-dessous des plus basses eaux de navigation du bief inférieur. L'eau de ce bief, ou bien celle du sas, n'exerceroit qu'une foible pression sur l'orifice du nouveau tuyau, et par conséquent l'écoulement de l'air s'y feroit avec bien plus de rapidité que par l'ouverture du siphon.

Si le tuyau qu'on vient d'ajouter restoit ouvert quand le bief inférieur seroit à sec, il est évident qu'il empêcheroit de vider l'air du siphon. Il faudroit donc le boucher quand on voudroit remplir ce bief aux dépens de celui d'amont. C'est ce qu'on feroit avec la plus grande facilité, en appliquant sur l'orifice une espèce de soupape, que la pression extérieure feroit coller du moment où l'on commenceroit à pomper, et qu'on retireroit aussitôt que l'eau seroit montée assez haut pour la rendre inutile.

Digitized by Google

Nous terminerons cette note en faisant connoître la raison pour laquelle, dans notre projet d'écluse, nous avons fait horizontale et cylindrique la branche supérieure des siphons. Nous l'avions d'abord projetée en cône un peu évasé vers l'aval, et nous avions cru y voir deux motifs d'utilité : l'un, que l'inclinaison de la génératrice inférieure accéléreroit le mouvement de l'eau pour arriver à la branche descendante; l'autre, que l'inclinaison en sens contraire, de la génératrice supérieure, contribueroit à faire rassembler l'air plus facilement vers le corps de pompe. Mais nous n'avons pas tardé à nous apercevoir que le second avantage est illusoire, puisque les dernières parties d'air ne sortent pas par la pompe. Nous avons pensé, en outre, que l'évasement de la branche de communication retarderoit le moment de l'expulsion en masse de l'air intérieur; en diminuant la vîtesse des tranches qui remplissent entièrement la section du siphon, et en tendant à empêcher l'eau d'en mouiller toute la capacité.

Une raison semblable nous a porté à faire un autre changement, au premier projet que nous avions conçu. Nous avions d'abord raccordé la branche horizontale avec la branche descendante, par un grand arc de cercle; afin que l'eau s'écoulât plus facilement dans celle-ci, sans intercepter le passage par lequel l'air se rend dans le corps de pompe. Mais réfléchissant depuis qu'il est plus avantageux d'évacuer le fluide élastique par le mouvement de l'eau; et que cet effet naturel aura lieu d'autant plus promptement, que le liquide viendra plutôt frapper la paroi opposée de la branche descendante; nous avons donné au coude, seulement le développement qui nous a semblé nécessaire, pour que l'eau ne vienne pas choquer la soupape inférieure, et y causer des avaries.

Digitized by Google

NOTE DEUXIÈME.

SUR DES PHÉNOMÈNES DE PRESSION NÉGATIVE QUI PEUVENT AVOIR DES APPLICATIONS UTILES.

Nous avons omis à dessein, dans la note précédente, des phénomènes assez curieux que nous ne croyons pas avoir été observés jusqu'ici. Ils se sont présentés à nous, lorsque nous cherchions à isoler l'un de l'autre les deux effets qui ont lieu dans la branche descendante des siphons : savoir, l'impulsion communiquée par l'eau, et la diminution de ressort produite par la raréfaction de l'air intérieur.

Si l'on emplit d'eau, en tout ou en partie, un tube recourbé (pl. I, fig. 5), et qu'on insinue une des extrémités, AB, de cette éprouvette dans la longue branche d'un siphon qui couleroit à plein; nous avons dit que l'eau sortira sous forme de jet par l'autre extrémité, en supposant, toutefois, que l'ouverture de celle-ci soit moins élevée d'une certaine quantité que le réservoir supérieur (1). Nous avons même vu que cet effet subsiste, quoique avec moins d'intensité, lorsque la longue branche du siphon renferme encore une colonne d'air, pourvu que l'eau ait à l'entour une grande vîtesse; et nous avons expliqué ce phénomène par l'impulsion que cette vîtesse communique, d'abord à l'air de la colonne, et ensuite à l'eau contenue dans le tube recourbé. Mais si, avec un chapeau métallique, ou simplement avec un petit cornet de papier enduit en cire par-dessus, on couvre l'ouverture du tube qui est plongée dans le siphon; on obtiendra un résultat tout contraire : l'eau qui remplit le fond de l'éprouvette remontera vivement dans le siphon, et quand elle y sera écoulée, l'air extérieur sera aspiré et remontera à son tour par le tube AB, d'où il entrera dans la longue bran-

(1) S'il n'y avoit point d'eau dans le tube recourbé, l'air commenceroit par s'évacuer; après quoi l'eau lui succéderoit et continueroit à jaillir.

Digitized by Google

che, par laquelle il ne cessera ensuite de descendre, tant que le réservoir supérieur fournira de l'eau à l'écoulement.

Nous avons substitué du mercure à l'eau qu'on avoit d'abord versée dans l'éprouvette : et comme la branche AB étoit trop longue pour qu'il pût s'élever jusqu'au haut, le mouvement a cessé ; mais le liquide métallique s'est tenu, dans cette branche, de plusieurs lignes plus élevé que dans l'autre, démontrant ainsi l'excès de la pression atmosphérique sur la pression intérieure.

Si la seconde branche du tube de verre est elle-même recourbée deux fois, de la façon qu'indique la figure 6 de la première planche, et qu'elle plonge au fond d'un vase plein d'eau, placé plus bas que le baquet inférieur, mais entre certaines limites ; on verra le liquide dont ce vase est rempli monter dans le siphon, et y prendre son écoulement : de telle sorte que ce troisième réservoir se videra entièrement dans le second qui est plus élevé que lui.

Ces phénomènes sont un effet de ce que Daniel Bernouilli a nommé la pression négative, qu'il a observée sur des ajutages coniques, dont la plus petite base étoit du côté de réservoir ; et qui ne paroît pas l'avoir été dans les tuyaux cylindriques, ni dans ceux qui sont verticaux. Il est cependant bien facile d'en donner l'explication. Dans sa chute, l'eau accélère la vîtesse que lui avoit donnée, à l'entrée du siphon, la pression atmosphérique ou si l'on veut la différence des niveaux. Il faudroit donc que la section de la branche descendante diminuât en proportion, pour qu'elle se trouvât entièrement remplie par le liquide. Conséquemment, en supposant cette section constante, il doit se faire un vide, ou tout au moins une tendance au vide, entre les molécules de l'eau ; d'où il suit que l'air extérieur doit se trouver aspiré, toutes les fois qu'on le met en communication avec l'intérieur de la branche descendante.

Dans la première expérience, cette pression négative, c'est-à-dire moindre que celle de l'atmosphère, ne se faisoit pas remarquer, à cause du choc de l'eau qui se précipite par le siphon, et qui venoit frapper celle contenue dans l'éprouvette. Mais du moment qu'on a eu couvert l'orifice avec un chapeau, la communication du mouvement a cessé de pouvoir se faire par la collision ;

Digitized by Google

et l'éprouvette, soumise simplement aux actions de la pression intérieure et de la pression extérieure, a rendu évidente la supériorité de celle-ci : dans la première des trois expériences que nous venons de rapporter, en aspirant l'air atmosphérique; dans la seconde, en élevant le niveau du mercure ; et dans la dernière, en vidant l'eau du troisième réservoir, dont la surface étoit au-dessous des deux baquets.

Le tube recourbé étant couvert de son chapeau, du côté où il plonge dans le siphon, et communiquant librement avec l'atmosphère, par le bout opposé, de même que dans la première des trois dernières expériences ; on ne doit point s'étonner de voir l'air, après avoir monté dans le siphon par ce canal, redescendre entièrement sans qu'il s'en élève aucune bulle au-dessus du chapeau : puisque nous savons déjà que la vîtesse de l'eau est suffisante pour vider d'air le siphon, alors même qu'il reste encore du fluide élastique dans la branche horizontale.

Ces effets de la pression négative ne soint point dus à la forme des siphons : ils auroient évidemment lieu dans l'écoulement par un tuyau vertical et cylindrique, qu'on adapteroit au fond du réservoir supérieur; et ils augmenteroient peut-être, jusqu'à certaines limites, en supposant le tuyau évasé comme l'ajutage horizontal de Bernouilli.

La contraction de la veine fluide, c'est-à-dire la diminution de vîtesse des couches d'eau voisines de l'orifice, pourroit bien aussi contribuer à la pression négative. Car l'effet de cette contraction est également de diminuer le diamètre du jet, et par conséquent de donner une tendance au vide le long des parois cylindriques qui le renferment. Pour apprécier le rapport dans lequel ces deux causes contribuent au résultat ; il faudroit mesurer la pression négative dans deux tuyaux cylindriques d'un égal diamètre, et soumis tous deux à une charge constante, mais dont l'un seroit vertical, tandis que l'autre seroit horizontal et ne devroit la pression négative qu'à la contraction de la veine fluide.

Il seroit encore mieux d'employer successivement le même tuyau, dans la position horizontale et dans la position verticale; afin d'éviter la complication qui pourroit être introduite, par une petite différence dans la matière dont seroient composées les deux parois intérieures.

Digitized by Google

Un ajutage cylindrique augmente la dépense d'eau qui se seroit faite par un orifice en mince paroi. On en donne pour raison l'adhérence du liquide avec la surface intérieure du tuyau; et M. Hachette rapporte à ce sujet de belles expériences, pour prouver que l'écoulement a lieu comme par une mince paroi, chaque fois que le liquide ne mouille pas l'ajutage, et qu'il cesse conséquemment d'y adhérer. La pression négative n'est-elle pas aussi une des causes de ce phénomène? Deux raisons porteroient à le penser. La première est que plusieurs physiciens affirment que la dépense est la même dans le vide, par une paroi mince et par un tuyau additionnel d'égal diamètre; ce qui fait coïncider la suppression de l'augmentation de la dépense avec la disparition de la pression négative, qui ne peut avoir lieu dans le vide. La seconde raison est que l'on conçoit facilement qu'une tendance au vide, qui existe dans l'ajutage, est une force aspiratrice qui doit attirer l'eau du réservoir, et s'ajouter ainsi à celle qui résulte de la hauteur du liquide au-dessus de l'orifice.

Si l'on vouloit considérer la pression négative comme la seule cause du phénomène dont il s'agit; cela n'empêcheroit pas d'expliquer très-bien les expériences dans lesquelles M. Hachette a vu l'écoulement changer de nature, lorsqu'il faisoit en sorte que la surface intérieure de l'ajutage cessât d'être mouillée par le liquide. En effet, quand cette surface n'est point de nature à être mouillée, ou qu'une couche d'air s'y oppose, il en résulte une répulsion (1) qui est opposée à la dilatation que la pression négative tendoit à produire dans le jet, et l'on conçoit que ces deux forces peuvent se détruire réciproquement.

---

(1) Lorsque nous parlons de la répulsion exercée par la paroi du tuyau contre le liquide qui n'est pas de nature à la mouiller, les lecteurs penseront surement que nous n'avons point l'intention de faire entendre que la matière du tuyau et celle du liquide se repoussent réellement: puisque tous les corps s'attirent au contraire; et que les fluides impondérables, eux-mêmes, paroissent ne produire des phénomènes de répulsion que par suite des attractions auxquelles ils sont soumis. Nous avons donc seulement voulu désigner ici l'effet produit, qui est le même que s'il y avoit une répulsion réelle, et qui peut être remplacé par une force répulsive. Au reste, nous renvoyons au beau travail de M. de La Place sur la capillarité : on y verra comment l'illustre Auteur a prouvé que la répulsion qui s'exerce dans un tube non mouillé est un résultat de l'attraction.

Digitized by Google

On conçoit aussi qu'une de ces forces pourroit être plus grande que l'autre. Si c'étoit la force à laquelle la pression négative donne naissance, l'écoulement seroit plus considérable que par une paroi mince, et moindre que par un ajutage susceptible d'être mouillé. Au contraire, si la force répulsive de la surface intérieure du tuyau étoit la plus grande, la dépense d'eau seroit moindre que par une mince paroi. Ceci ne pourroit arriver qu'avec des tuyaux fort étroits : car il faudroit que l'action de la surface intérieure tendît à resserrer la colonne d'eau, plus qu'elle ne l'est par la contraction de la veine fluide, si l'ajutage est horizontal; et plus qu'elle ne l'est par cette contraction et par l'accélération de la vîtesse, si l'ajutage est vertical. Il résulte de là que l'ajutage devroit être assez petit, pour que l'espace compris entre sa paroi intérieure et la surface que tend à affecter le jet fût soumise à l'action capillaire.

Dans l'hypothèse que nous soumettons à nos lecteurs, on voit que la dépense varieroit, selon que la matière de la surface intérieure des ajutages auroit plus ou moins de disposition à être mouillée: ce qu'il est facile de vérifier par des expériences. Le rapport de la force dilatatrice et de la force répulsive varieroit aussi avec le diamètre des tuyaux, puisque l'une devroit croître proportionnellement aux circonférences des sections des ajutages, tandis que l'autre seroit probablement proportionnelle à leurs surfaces. Ainsi, la matière qui donneroit, par un tuyau d'un certain diamètre, un écoulement égal à celui d'une ouverture pareille faite dans une mince paroi, pourroit fort bien ne pas présenter la même égalité pour des ouvertures de tuyau et de paroi égales entre elles, mais différentes des premières. Nous regrettons de ne point être en position de pouvoir faire les expériences exactes qui confirmeroient ou détruiroient ce système : il nous semble qu'elles seroient de quelque intérêt.

On sait depuis long-temps que la dépense est encore augmentée, lorsqu'on substitue à l'ajutage cylindrique un tuyau conique évasé, ou deux cônes joints par leur plus grande base et dont les bases les plus petites sont égales à la section de l'ajutage. Enfin, on connoît les expériences qui prouvent que l'augmentation de dépense est aussi provoquée par l'intercalation du système des deux mêmes cônes, entre deux tuyaux cylindriques.

Digitized by Google

dont la section est égale à la petite base de ces cônes. Ces phénomènes s'expliquent facilement à l'aide de la pression négative. L'espace qui tend à être vide, entre le tuyau et la forme qu'affecteroit le jet s'il étoit libre, a été indiqué comme une cause aspiratrice qui active l'écoulement: la dépense doit donc encore augmenter quand cet espace augmente, ce qui a lieu évidemment dans le cas du cône évasé et dans celui des deux cônes accolés.

Il ne faut pas conclure de là qu'on pourroit étendre indéfiniment le grand diamètre du cône évasé, et le diamètre commun aux deux cônes: l'accroissement de la dépense doit avoir un maximum; et des expériences subséquentes prouveront probablement qu'il a lieu au point où l'évasement seroit tel, que la vîtesse de l'eau, combinée avec l'attraction de l'eau pour le tuyau, et de l'eau pour elle-même, ne seroit plus assez forte pour enlever l'air contenu dans le rélargissement de l'ajutage ou du tuyau de conduite. On voit en effet qu'au delà de ce point, la pression négative ne peut plus croître, non plus que l'aspiration qui en est la suite.

On s'expliquera avec une égale facilité, comment il se fait qu'un ajutage conique évasé, tout en augmentant l'écoulement qui auroit lieu par un tuyau cylindrique, ne lui donne pas la même intensité que deux cônes opposés et joints par leur grande base, ou séparés par un tuyau de même diamètre que cette base. En effet, la tendance au vide, ou la pression négative, est bien plus forte dans l'espèce de récipient formé par les deux cônes, que dans le cône simple qui débouche dans l'air ou dans le réservoir inférieur; puisque la pression de l'atmosphère la diminue dans ce dernier cas, en faisant effort pour refouler le liquide dans l'espace où le mouvement de l'eau tend à faire le vide.

Nous pensons qu'on pourroit faire d'utiles applications du principe de la pression négative, ainsi généralisé: si un homme de talent s'en emparoit et réunissoit l'expérience à la théorie; pour déterminer, suivant la nature de la résistance, ainsi que d'après la hauteur de la chute et le produit de la source supérieure, la forme et la position à donner aux différentes pièces, afin d'obtenir le maximum du rapport de l'effet utile à la dépense. Car l'aspiration, qui s'effectue par le tuyau intérieur à chapeau, est une force qui peut servir de moteur à une machine quelconque. Le grand avantage de

Digitized by Google

semblables machines seroit de n'exiger aucune réparation; de ne jamais s'arrêter, jusqu'au temps bien éloigné où les tuyaux eux-mêmes seroient usés; et de ne perdre aucune partie de la force, soit par le frottement et l'adhérence des pièces du mécanisme, soit par la discontinuité du mouvement et par les chocs, qui dans toutes les machines empêchent la conservation des forces vives.

L'eau qui devroit servir de moteur s'échappant par un tuyau vertical, il y auroit lieu à examiner s'il ne seroit pas avantageux, dans certains cas, de courber ce tuyau horizontalement à son extrémité; afin d'introduire dans la partie horizontale le tuyau aspirateur recouvert d'un chapeau. En attendant le résultat de l'expérience, nous pensons qu'il vaudroit mieux prolonger verticalement le tuyau descendant, au-dessous de la surface du cours d'eau, de manière que le chapeau pût être au niveau de cette surface.

On a vu que la pression négative doit augmenter, lorsque le tuyau vertical ou horizontal, par lequel s'écoule l'eau du réservoir supérieur, a un renflement composé de deux troncs de cône évasés, joints base à base ou séparés par un tuyau du diamètre de leur grande base. On peut donc croire qu'on augmenteroit l'effet du tuyau aspirateur, en plaçant son chapeau dans un semblable renflement, ou un peu au-dessus. C'est un des principaux objets qu'auroient à examiner ceux qui voudroient employer la pression négative comme moteur. Il est à croire qu'on trouveroit aussi de l'avantage à arrondir la jonction des cônes, tant entre eux qu'avec le tuyau principal.

Au nombre des applications utiles, on doit ranger celle d'épuiser un marais, par le moyen d'une source qui tomberoit dans un cours d'eau plus élevé que le fond de ce marais. Il suffiroit pour cela d'établir un tuyau vertical par lequel s'écouleroit l'eau de la source, et d'avoir un autre tuyau, courbé de façon qu'un des bouts allât plonger dans le marais, tandis que l'autre bout, coiffé d'un chapeau, déboucheroit dans l'intérieur du premier tuyau. La conséquence de ce qui précède est que l'eau stagnante doit monter dans le ruisseau, pourvu que la différence de niveau soit moindre que la hauteur d'eau qui feroit équilibre à la pression négative, dans l'endroit du gros tuyau où le chapeau est placé.

Digitized by Google

Venturi, dans un cas semblable, a fait réellement une application du principe de la pression négative, bien qu'il attribue à la communication latérale du mouvement l'ascension de l'eau dans la machine qu'il a composée. Mais il semble que l'appareil que nous venons de décrire donneroit un plus grand effet, en supposant toutefois que les organes de cette machine si simple auroient été bien proportionnés.

Une application utile pourroit encore être faite aux expériences chimiques relatives aux fluides aëriformes : ce seroit de vider le gaz contenu dans une cloche trop grande pour pouvoir être transportée sous la tablette de la cuve pneumato-chimique, du moins sans avoir à craindre de perdre quelque chose de ce qu'elle renferme. On pourroit même faire passer le gaz dans une cloche placée sur un autre appareil moins élevé, malgré la propriété qu'il a de monter au-dessus de l'eau et du mercure. Pour cela, il faudroit plonger dans la cuve, ou dans tout autre vase, la branche courte d'un gros siphon, dont l'autre branche, recourbée une seconde fois, s'engageroit sous la tablette d'une nouvelle cuve pneumato-chimique, ou bien sous la tablette de la première, si le vase étoit plus élevé qu'elle. Du moment que l'eau couleroit à plein, avec un tube coiffé d'un chapeau, on établiroit la communication entre la cloche qu'on veut vider d'air et la longue branche du siphon : on verroit aussitôt, en vertu de la pression négative, le gaz passer dans le siphon, et de là se rendre sous la tablette où s'engage la longue branche, et dans un autre récipient.

Une cheminée doit être considérée comme une des branches d'un siphon, laquelle fait tantôt fonction de la plus longue, et tantôt de la plus courte, suivant des circonstances très-variables qui dépendent de la pression et du mouvement de l'air. Les considérations précédentes pourroient servir à établir une théorie de la fumée, et pourroient aussi donner moyen d'en préserver l'intérieur des maisons, par l'effet de chapeaux appropriés à cette espèce d'écoulement. Nous avons commencé à ce sujet des expériences que nous ne désespérons point de pouvoir continuer un jour.

Digitized by Google

NOTE TROISIÈME.

SUR D'AUTRES PHÉNOMÈNES RELATIFS A LA PRESSION NÉGATIVE, SUR UNE OBJECTION QU'ON PEUT OPPOSER AU SYSTÈME DES ÉCLUSES A SIPHONS RENVERSÉS ET SUR LA MANIÈRE D'EMPLOYER LA PRESSION NÉGATIVE, SOIT POUR ÉLEVER L'EAU D'UNE SOURCE AU-DESSUS DE SON NIVEAU, SOIT POUR PRODUIRE TOUT AUTRE EFFET.

En parlant des phénomènes de pression négative que présentent les siphons, nous avons avancé qu'ils seroient les mêmes dans l'écoulement d'un fluide par un tuyau cylindrique vertical. L'espèce de théorie que nous avons établie, toute grossière qu'elle est et incapable d'être soumise au calcul, à défaut d'observations exactes, paroît néanmoins suffisante pour nous avoir permis cette assertion : il est donc possible qu'on trouve inutiles les expériences que nous allons rapporter à ce sujet.

Cependant, au moment où nous pensions livrer ce travail à l'impression, il nous a semblé que plusieurs lecteurs pourroient trouver impardonnable qu'on leur eût présenté, comme résultat théorique, un principe susceptible d'applications importantes ; tandis qu'il est facile de le démontrer par l'expérience.

Nous avons donc fait adapter, au fond du baquet que nous avons nommé jusqu'ici premier réservoir, un tuyau cylindrique en fer-blanc de 0^{m}, 245 de longueur, et de 0^{m}, 023 de diamètre. L'extrémité inférieure de ce tuyau vertical s'enfonçoit plus ou moins dans l'eau du second réservoir, selon qu'on vouloit faire tomber l'eau supérieure d'une hauteur plus ou moins grande; et l'on pouvoit aussi faire varier la charge au-dessus de l'orifice supérieur. Tout étant disposé de la sorte, nous avons versé de l'eau dans le premier réservoir, et fait entrer dans l'ajutage (1) en fer-blanc la branche AB

(1) Nous donnons ici le nom d'*ajutage* au tuyau de fer-blanc dont il vient d'être fait mention, et par lequel s'écoule l'eau du réservoir supérieur.

Digitized by Google

de l'éprouvette (fig. 5, pl. I). Dès-lors, nous avons vu jaillir l'eau par le côté C, tant que les choses sont restées dans le même état. Cet effet avoit encore lieu lorsqu'on baissoit l'éprouvette dans la direction de l'axe de l'ajutage, de façon que l'orifice A se trouvoit à un pouce ou deux plus bas que l'extrémité inférieure de ce tuyau. Ainsi, l'impulsion de l'eau agit très-fortement hors de l'ajutage, dans la direction de l'axe de cette pièce.

Nous avons introduit de nouveau, dans l'ajutage, la branche AB du tube recourbé; mais après avoir placé un chapeau métallique sur cette branche. Aussitôt, nous avons été frappé d'un spectacle semblable à celui que les siphons nous avoient présenté : l'eau contenue dans l'éprouvette s'est élevée précipitamment dans le tuyau de fer-blanc, et à sa suite l'air atmosphérique; lequel, une fois monté dans l'ajutage, redescendoit en plusieurs grosses bulles dans le réservoir le moins élevé, sans qu'une seule montât dans le baquet supérieur. Ce mouvement s'est continué, aussi long-temps qu'on a fourni de l'eau au premier réservoir.

L'expérience qui précède prouve invinciblement la pression négative; toutefois nous avons voulu la répéter sous une autre forme. Nous avons donc mis un chapeau sur l'orifice B du tube de la figure 6 (planche I), et nous l'avons fait entrer dans le tuyau de fer-blanc; tandis que l'extrémité A plongeoit dans un vase contenant environ deux litres et demi d'eau. Le fond de ce petit réservoir étoit à deux décimètres plus bas que le niveau du second baquet, dans lequel l'ajutage étoit plongé. Ainsi que nous devions nous y attendre, l'eau s'est élevée du nouveau vase et a monté dans le second baquet : de sorte que ce vase s'est trouvé vide en très-peu de temps; bien que l'écoulement de l'eau, du premier baquet dans le second, ne se fit qu'avec une différence de hauteur d'environ quarante centimètres. L'air extérieur a ensuite été aspiré, comme dans le premier essai.

De ces expériences, répétées et variées de plusieurs manières, il résulte que la pression négative existe réellement dans les ajutages cylindriques verticaux, et qu'on peut en faire les applications que nous avons indiquées.

Nous avons négligé, dans le cours de ce mémoire, de réfuter une objection qu'on pourroit opposer au système que nous avons présenté pour la manœuvre des eaux des écluses. Les siphons ont été faits d'un seul mor-

Digitized by Google

ceau, dans toute la partie qui excède les eaux de navigation; afin d'éviter les sutures par lesquelles l'air, en s'introduisant, auroit pu ralentir le mouvement de l'eau. Néanmoins, il reste encore l'assemblage du corps de pompe avec le tuyau montant, et l'assemblage de ce dernier avec le robinet. On conviendra qu'il est facile d'empêcher l'air de pénétrer entre les brides qui joignent ces pièces; mais on dira, peut-être, que les rondelles interposées s'altéreront à la longue, qu'il passera alors un peu d'air, et que si l'éclusier n'y fait pas attention ou qu'il ait eu la négligence de ne pas tenir des rondelles toutes prêtes, une journée pourra se passer sans qu'on en replace d'autres. On ajoutera que pendant ce temps la manœuvre se fera mal, à cause de l'air qui pénétrera dans le siphon; que cet air commencera par retarder le mouvement de l'eau, et finira par l'arrêter tout-à-fait.

A cela on doit répondre : 1°. Que les rondelles auront besoin d'être remplacées, bien moins souvent que les crics des ventelles n'ont besoin de réparation; et qu'aux pompes, non plus qu'aux ventelles, l'accident n'aura pas lieu à la fois des deux côtés de la même tête. 2°. Qu'un sifflement assez fort avertira de suite de l'introduction de l'air, quelque petite que soit l'ouverture qui lui donnera entrée. 3°. Qu'en supposant la négligence impardonnable de n'avoir point de rondelles de rechange pour mettre entre les brides, ou bien le cas dans lequel l'éclusier ne seroit pas assez adroit pour les placer, et attendroit un de ses voisins ou l'éclusier pompier; la manœuvre pourroit fort bien se faire pendant un jour, et aussi pendant deux ou trois, sans que la filtration d'air retardât sensiblement le passage des bateaux.

En effet, on auroit tort de penser que l'air, qui entrera nécessairement par de très-petits orifices, pourra s'emparer de l'intérieur du siphon, au point d'empêcher l'écoulement de l'eau et d'obliger de faire agir la pompe. Notre assertion est fondée sur ce qui a été exposé précédemment; savoir, que la vîtesse de l'eau est assez grande pour expulser la moitié du fluide élastique contenu dans le siphon. Elle sera donc, à fortiori, suffisante pour entraîner continuellement les filets d'air qui s'introduiront. Et l'on peut croire que cet air ne nuira guère plus, que par l'espace qu'il occupera pendant son passage et qui devroit être rempli par de l'eau en mouvement.

Le raisonnement qui précède paroît sans réplique, et c'est à cause de son

Digitized by Google

évidence que nous l'avions omis. Mais ayant déjà prouvé par l'expérience un autre résultat tout aussi évident, nous nous sommes encore déterminé à en faire autant sur ce nouveau sujet.

La figure 7 (planche I) représente un siphon de fer-blanc, portant à l'aplomb de sa longue branche un tuyau terminé par un robinet. Le siphon a vingt-deux millimètres de diamètre intérieur; l'orifice du robinet, destiné à laisser rentrer le fluide athmosphérique, a $\frac{7}{10}$ de millimètre, et il est élevé de douze centimètres et demi au-dessus de la branche horizontale. Ces données nous sont très-défavorables comparées, à celles de nos écluses. En effet, la grande élévation comparative de l'orifice du robinet est cause que le jet d'air perd sa vîtesse initiale, avant d'arriver à l'eau; de plus, cet orifice est construit de manière à faciliter l'entrée de l'air; et enfin, d'après la proportion des diamètres des tuyaux, il équivaut à un trou circulaire de vingt-un millimètres d'ouverture, pratiqué dans les parois des siphons de notre écluse : ce qui donne une section bien plus grande, que la somme des petits jours qui pourroient se trouver entre les brides.

Le siphon que nous venons de décrire ayant ses deux extrémités plongées dans deux réservoirs d'eau, nous avons expulsé l'air, en suçant par l'orifice du robinet, et nous avons ensuite laissé cet orifice ouvert. Dès-lors, nous avons vu sortir, par la longue branche, une foule de bulles provenantes du filet d'air qui s'introduisoit par le robinet. La diminution de vîtesse de l'eau n'étoit pas sensible à la vue, et nous manquions d'appareils propres à la mesurer avec précision; mais le liquide couloit avec rapidité, et a continué ainsi, jusqu'à ce qu'on ait cessé de fournir de l'eau au baquet supérieur.

Nous avons réitéré cette épreuve, en diminuant la distance verticale qui séparoit d'abord les niveaux des réservoirs supérieurs et inférieurs. Lorsque la distance des surfaces des deux liquides a été réduite à environ quatre ou cinq pouces, l'introduction du filet d'air a diminué très-sensiblement la vîtesse de l'eau, et au bout de quelque temps l'écoulement s'est arrêté. Il seroit intéressant de déterminer, par des observations exactes, les relations que doivent avoir, lorsque l'eau cesse de couler, le diamètre et l'élévation de l'orifice du robinet, avec les longueurs des trois branches du siphon, leur diamètre et les

Digitized by Google

hauteurs dont les deux branches extrêmes plongent dans l'eau. Mais ce n'est point là notre objet : il nous suffit d'avoir prouvé qu'une filtration d'air, qui sera toujours comparativement bien moindre que celle de la dernière expérience, n'aura presque aucune influence sur le passage de l'eau par les siphons de notre projet d'écluse; et que quelques coups de piston pourroient tout au plus être utiles à donner, vers la fin de la manœuvre, le jour où la négligence de l'éclusier, ou bien sa mal-adresse, obligeroit à opérer avec de légers interstices entre les brides.

Voici encore deux expériences faites avec le siphon de fer-blanc qui a été décrit plus haut.

Dans la première, la génératrice inférieure de la branche horizontale s'élevoit de 0^{m}, 11 au-dessus du réservoir supérieur, la branche descendante plongeoit de 0^{m}, 07 dans le réservoir inférieur, et la différence de niveau des deux réservoirs étoit de 0^{m}, 24. L'eau ayant une fois commencé à couler à plein tuyau, on a ouvert le robinet, dont l'orifice a donné passage à l'air ainsi qu'une petite fissure qui s'étoit faite auprès de la clef. Cet air n'a cessé de s'évacuer par la longue branche, et l'eau n'a cessé de couler, pendant tout le temps où l'on a alimenté le réservoir supérieur.

Dans la seconde expérience, le fluide atmosphérique pénétroit seulement par la petite fissure qui étoit survenue au robinet, et dont on ne pouvoit mesurer l'ouverture, bien qu'elle fût assez grande pour qu'une suite de bulles non interrompues manifestassent la rentrée de l'air; lequel s'évacuoit comme à l'ordinaire par la longue branche. On a alors élevé la surface de l'eau du réservoir inférieur, jusqu'à 0^{m}, 06 de celle du réservoir où plongeoit la branche courte : et l'écoulement de l'air et de l'eau a continué dans le siphon, tant qu'on a maintenu cette différence de niveau; malgré que la branche descendante plongeât de plus de 0^{m}, 20 (1).

A la fin de la note précédente, nous avons supposé qu'un marais étoit situé plus bas qu'un cours d'eau dans lequel se trouve une chute; et nous

(1) L'imperfection de notre appareil ne nous a pas permis de rapprocher davantage les surfaces d'eau des deux réservoirs; de sorte que nous ne savons point à quelle différence de niveau, l'introduction de l'air auroit arrêté l'écoulement.

Digitized by Google

avons donné le moyen d'épuiser ce marais, en employant une machine composée de deux tuyaux, sans pistons ni soupapes, et sans aucun autre organe équivalent. Nous allons essayer de décrire sommairement une autre machine, qui est également fondée sur le principe de la pression négative, et qui, sans piston, mais à l'aide de soupapes, éleveroit l'eau de la source au-dessus de son niveau (1).

La principale pièce de la machine seroit toujours un tuyau vertical surmonté d'un chaperon, et placé dans un autre tuyau par lequel s'écouleroit le liquide qui doit servir de moteur. Le premier tuyau seroit coudé par le bas, et auroit une seconde branche verticale qui se termineroit, du côté opposé, dans la partie supérieure d'un récipient ou réservoir d'air. Du fond de ce récipient, établi à une hauteur déterminée au-dessus de la source, il partiroit un tuyau droit qui plongeroit dans cette dernière, et que nous désignerons sous le nom de tuyau aspirateur. L'effet évident de cette disposition, est qu'une partie de l'air intérieur soit aspiré par le tuyau à chapeau, et que l'eau monte dans le récipient par le tuyau droit que nous avons nommé aspirateur, en supposant toutefois que cet aspirateur ne soit pas trop long. L'eau étant parvenue à une certaine élévation dans le récipient, un flotteur qui en auroit suivi le mouvement feroit tomber une soupape sur l'orifice de chacun des deux tuyaux, et ouvriroit en même temps un clapet d'écoulement par lequel se videroit le liquide aspiré. Après la sortie de ce liquide, le flotteur en descendant ramèneroit les soupapes et le clapet à leur premier état, l'aspiration recommenceroit, et le jeu qu'on vient de décrire se continueroit indéfiniment.

La machine exécutée de la sorte auroit deux grands défauts : le premier, de ne point fournir un jet continu ; et le second, de laisser perdre l'eau motrice pendant que le réservoir se videroit. Pour y remédier, il faudroit embrancher, sur le tuyau à chapeau, un second tuyau qui déboucheroit également dans la partie supérieure d'un autre réservoir d'air. Ce nouveau

(1) Ce que nous annonçons est commun entre cette machine et le belier hydraulique de M. de Mongolfier. La différence tient à ce qu'il y a un choc dans le belier, tandis qu'il n'y en a point dans notre mécanisme, que nous n'avons d'ailleurs aucune intention de comparer avec une des plus belles inventions modernes.

Digitized by Google

récipient seroit muni comme le premier d'un tuyau aspirateur de l'eau, de soupapes et d'un clapet; et toutes les parties en seroient réglées de manière qu'il mît à se remplir autant de temps que l'autre à se vider, et réciproquement. Cette relation permettroit de faire en sorte que l'aspiration de l'eau se fît dans un de ces réservoirs, tandis que l'autre se videroit. D'où il résulteroit que l'écoulement de l'eau seroit continuel, soit par un récipient, soit par l'autre; et que l'aspiration de l'air ne cessant jamais dans le tuyau à chapeau, il n'y auroit point de dépense inutile de l'eau de la source.

Au lieu de deux tuyaux droits, aspirateurs de l'eau de la source, il seroit plus avantageux d'embrancher deux petits tuyaux courbes sur un seul aspirateur.

Un semblable appareil ne pourroit pas, en une seule fois, faire monter l'eau à une très-grande hauteur. Mais rien n'empêcheroit de le faire par plusieurs levées; en appliquant à chacune une machine qui ne différeroit de celle qu'on vient de décrire, qu'en cela, que la seconde branche du tuyau à chapeau seroit plus longue, et que le tuyau aspirateur plongeroit dans un bassin élevé, où l'eau se rendroit à la sortie des récipiens de la machine immédiatement inférieure.

De plus grands détails sur cette machine exigeroient qu'on y joignît des figures. Nous nous bornerons à dire qu'il y auroit économie de la force motrice, à partager chaque récipient en deux parties séparées par une soupape, et dont la seconde se rempliroit entièrement d'eau avant que le clapet d'écoulement s'ouvrît. Cette nouvelle soupape rendroit inutile celle que nous avons placée à l'orifice du tube à chapeau, et qu'il faudroit par conséquent supprimer.

Les deux récipiens, ou réservoirs d'air, que nous venons de décrire sommairement, pourroient encore servir de moteurs pour produire un effet quelconque; si l'on adaptoit à chacun d'eux un cylindre dans lequel un piston prendroit un mouvement de va-et-vient, par l'action alternative de la pression extérieure et d'un contre-poids. Il faudroit alors remplacer le tuyau dont l'office étoit d'aspirer l'eau, par une soupape qui s'ouvriroit à l'instant où le piston, poussé par la pression de l'atmosphère plus grande

Digitized by Google

que celle de l'air raréfié dans le récipient, auroit achevé sa course. L'ouverture de cette nouvelle soupape permettroit à l'air extérieur de s'introduire derrière le piston, et rétablissant, des deux côtés de cette dernière pièce, l'équilibre du fluide atmosphérique, elle laisseroit au contre-poids la liberté d'agir et de ramener le piston à sa première position. Ce retour étant effectué, la nouvelle soupape que nous venons de placer au bout de la course du piston, du côté du récipient, se refermeroit, afin que la pression négative pût de nouveau aspirer l'air derrière le piston; ce qui détermineroit la pression extérieure à refouler une seconde fois celui-ci et son contre-poids vers l'intérieur de la machine. Ce mouvement alternatif se perpétueroit aussi long-temps que l'écoulement de la source motrice auroit lieu, et il pourroit faire marcher tel mécanisme que l'on voudroit, au moyen des organes connus pour transmettre le mouvement et pour en changer l'espèce.

Dans la machine à élever l'eau, nous avions d'abord établi une soupape, à l'endroit où le tuyau à chapeau pénétroit dans chaque récipient ou réservoir d'air. Ici, il faudroit au contraire la placer à l'entrée du cylindre; afin que l'air atmosphérique, en pénétrant derrière le piston, n'entrât point dans le récipient: ce qui exigeroit une inutile dépense de force, pour vider l'air introduit de la sorte. Par un semblable motif, la partie du cylindre, comprise entre cette dernière soupape et la fin de la course du piston, ne devroit avoir que tout justement l'étendue nécessaire pour loger la nouvelle soupape, que nous avons destinée à rétablir la communication de cette partie avec l'atmosphère.

On voit encore que toutes les soupapes devroient être à tiroir ou à robinet. Car des soupapes ordinaires causeroient une vaine dépense de la force motrice, pour les ouvrir en opposition avec la pression extérieure; tandis que, dans les soupapes à tiroir ou à robinet, on n'a à vaincre qu'un léger frottement, qui devient presque nul quand l'air a commencé de s'introduire (1).

Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnoîtra facilement qu'on pourroit supprimer un des deux récipiens d'air, en les réduisant à un seul qui seroit établi entre les deux cylindres des pistons, et duquel l'air seroit conti-

(1) Il est évident qu'on trouveroit le même avantage à substituer des tiroirs ou des robinets, aux soupapes et aux clapets que nous avons appliqués à la machine précédemment décrite.

Digitized by Google

nuellement aspiré par le tuyau à chapeau. Il suffiroit, pour cela, de séparer ce récipient d'avec les deux cylindres, par des soupapes dont l'une s'ouvriroit à l'instant où l'autre se fermeroit ; et de conserver, dans les espaces compris entre ces soupapes et les points où s'arrêtent les courses des pistons, lors de leur retour vers le récipient, les autres soupapes qui sont destinées à faire rentrer l'air dans ces espaces, auxquels on continueroit de ne donner que le moins d'étendue possible, pour économiser la force motrice. Enfin la machine seroit construite de telle sorte, que dans les deux soupapes qui appartiennent à un même cylindre, il y en auroit toujours une d'ouverte pendant que l'autre seroit fermée; afin d'empêcher que l'aspiration et l'action de l'air extérieur ne pussent agir à la fois sur la même face d'un piston.

Au moyen de ces dispositions, la pression négative auroit toujours lieu derrière un des deux pistons, que le poids de l'atmosphère pousseroit vers le récipient, tandis que l'autre s'en éloigneroit par l'effet de son contre-poids. Les deux pistons étant parvenus, chacun à l'extrémité de sa course, les soupapes ouvertes se fermeroient tout à coup, en même temps que les autres s'ouvriroient, et les pistons prendroient des mouvemens opposés à ceux qu'ils avoient d'abord (1).

De même qu'on introduit la vapeur successivement des deux côtés du piston, dans la plupart des machines à feu; de même aussi on pourroit se passer de contre-poids, en faisant agir la pression négative et celle de l'atmosphère, alternativement des deux côtés. L'appareil se composeroit d'un cylindre renfermant un piston dans son intérieur, et fermé aux deux bouts par des soupapes à tiroir ou à robinet, lesquelles seroient destinées à permettre ou à empêcher la communication avec l'air extérieur. Les deux extrémités du cylindre communiqueroient chacune avec un tuyau coudé; et ces deux coudes s'embrancheroient avec le tuyau à chapeau, chargé d'aspirer l'air par l'effet de la pression négative que développeroit la chute d'une source. Enfin, la machine seroit construite de manière à ouvrir et à fermer,

---

(1) Dans la machine à élever l'eau sans piston, nous avions placé au haut du réservoir d'air l'embouchure du tuyau à chapeau, afin que le liquide ne pût y atteindre avant l'ouverture du clapet. Mais dans les deux dernières machines, cette précaution devient superflue.

Digitized by Google

dans certaines positions du piston, des soupapes à tiroir ou à robinet, qu'on auroit placées aux points de jonction du cylindre avec les deux coudes établis à ses extrémités. Nous donnerons le nom d'intérieures à ces dernières soupapes, et le nom d'extérieures à celles qui terminent le cylindre et le font communiquer avec l'atmosphère.

Cette disposition étant bien conçue, supposons que le piston soit à l'extrémité de droite du cylindre. Le mécanisme étant supposé tel, que la soupape extérieure de droite se trouve ouverte, quand le piston est en cet endroit, tandis que la soupape intérieure du même côté est fermée, que la soupape extérieure de gauche l'est aussi, et que la soupape intérieure de ce dernier côté est ouverte; il en résulte que le tuyau à chapeau aspire l'air sur la gauche du piston, qui se trouve chassé vers cette partie par la pression extérieure. Mais lorsqu'il arrive au bout du cylindre, la soupape extérieure de gauche s'ouvre et la soupape intérieure du même côté se ferme, pendant que la soupape extérieure de droite se ferme et que la soupape intérieure de droite s'ouvre. L'air se trouve donc aspiré du côté droit; et la pression atmosphérique, qui agit librement sur le piston, doit le ramener de ce côté. Le piston étant parvenu au terme de cette seconde course, les soupapes qui étoient ouvertes se ferment, celles qui étoient fermées s'ouvrent, et conséquemment le mouvement de droite à gauche est produit comme au commencement.

Le piston continueroit indéfiniment à marcher de la sorte, et il imprimeroit tel mouvement qu'on voudroit, à la machine pour laquelle il serviroit de moteur.

Il n'est pas besoin de dire qu'il faut réduire, autant que possible, l'espace qui sépare la soupape extérieure et l'extrémité de la course du piston; afin que la machine n'ait point à aspirer inutilement une plus grande quantité d'air.

Les moteurs dont on vient de donner la description seroient d'une utilité particulière, dans les cas où l'action doit se transmettre à une grande distance. Car un long tuyau de communication, placé avant les récipiens, remplaceroit avec un immense avantage les tringles de renvoi, dont le mouvement alternatif dépense inutilement une partie de l'action produite.

Digitized by Google

NOTE QUATRIÈME.

SUR LA LOI A LAQUELLE LA PRESSION NÉGATIVE EST ASSUJETTIE; SUR QUELQUES EXPÉRIENCES QUI TENDENT A PROUVER L'EXISTENCE DE CETTE PRESSION, INDÉPENDAMMENT DES CORPS ÉTRANGERS QU'ON A INTRODUITS DANS LES TUYAUX POUR LA CONSTATER ; ET SUR DES PERFECTIONNEMENS QU'ON PEUT APPORTER AUX MACHINES PRÉCÉDEMMENT DÉCRITES.

La pression négative, comme toutes les propriétés des corps, doit être assujettie à une loi : celle-ci dépend évidemment de la forme, des dimensions et de la position des siphons ou des ajutages; elle dépend encore de la matière dont ces deux sortes de tuyaux sont composés; et aussi de la position du point où la pression est mesurée. A défaut d'instrumens construits avec précision, nous n'avons pu nous livrer à la recherche de cette loi. Néanmoins, ayant fait quelques expériences qui peuvent mettre sur la voie, nous allons en rendre compte; ainsi que de plusieurs autres, qui confirment les résultats auxquels nous avons été conduit par le raisonnement.

Si la contraction de la veine fluide est comme nous l'avons annoncé une des principales causes de la pression négative, cette pression doit se faire sentir très-fortement auprès de l'orifice supérieur d'un ajutage, et dans la partie par laquelle un siphon surpasse le niveau du réservoir supérieur. Quelques-uns des faits qu'on va rapporter confirmeront cette conclusion.

Un siphon de 0^{m}, 022 de diamètre plongeoit de 0^{m}, 025 par sa longue branche, et de plusieurs centimètres par sa branche la plus courte, laquelle s'élevoit de 0^{m}, 01 au-dessus de l'eau du réservoir supérieur; la différence de niveau des deux réservoirs étoit de 0^{m}, 345, et elle a été entretenue sensiblement la même, autant que cela est possible quand on n'a point d'appareils à niveau constant. L'écoulement ayant commencé à se faire à plein tuyau, on a mesuré la pression intérieure, successivement en divers

Digitized by Google

points de la branche descendante; ce qu'on a exécuté avec une éprouvette couverte d'un chapeau, et dans laquelle on avoit versé du mercure. La pression a été trouvée négative dans toutes les parties, mais variable d'un point à l'autre. Au bas du siphon, où le chapeau avoit d'abord été mis, elle soutenoit le mercure à environ $0^{mè}$, 01 plus haut dans la branche de l'éprouvette placée à l'intérieur du siphon, que dans la branche extérieure; et cette différence de niveau, qui sert de mesure à la pression négative, croissoit avec la hauteur à laquelle on élevoit le chapeau dans la longue branche du siphon : en sorte qu'au plus haut où l'on a pu parvenir, c'est-à-dire un peu au-dessus du niveau du réservoir supérieur, l'ascension du mercure a augmenté jusqu'à près de $0^{mè}$, 028.

Cette expérience a été variée, en faisant plonger plus ou moins la branche courte dans le réservoir supérieur, la longue branche dans le réservoir inférieur, et toujours on a obtenu des résultats analogues : d'où l'on doit conclure que la pression négative augmente à mesure qu'on s'élève dans la longue branche d'un siphon, et que sa plus grande intensité est au-dessus du niveau du réservoir supérieur.

On remarquera que la pression de $0^{mè}$, 028 de mercure est à peu près équivalente à celle d'une colonne d'eau, dont la hauteur seroit la distance verticale des niveaux des deux réservoirs. Dans un grand nombre des essais que nous avons faits, tant sur les siphons que sur les ajutages, nous avons pareillement trouvé que le maximum de la pression négative différoit très-peu, soit en plus, soit en moins, de la pression qui seroit due à la hauteur du réservoir supérieur au-dessus du second réservoir. Il est probable que les différences ont eu pour cause, l'imperfection des appareils que nous avons été forcé d'employer.

On pourroit faire une objection, contre une partie des conclusions que nous ont fournies les expériences contenues dans les notes de cet ouvrage. Les diverses éprouvettes, qui ont servi à manifester la pression négative, étoient toutes construites avec des tubes d'un diamètre assez grand, par rapport aux diamètres des siphons et des ajutages, pour qu'on puisse supposer que c'est la présence de ces éprouvettes qui faisoit naître les phénomènes que nous avons décrits. Cette considération nous a déterminé à nous

Digitized by Google

procurer les tubes les plus minces que nous avons pu rencontrer, parmi ceux qui ne sont point capillaires, à en fabriquer des éprouvettes de toutes les formes qui ont déjà été indiquées, et à les couvrir de chapeaux qui débordent les tubes aussi peu que possible. Nous avons ensuite répété, à l'aide de ces nouveaux instrumens, la plupart des expériences précédemment rapportées; et nous avons obtenu des résultats semblables aux premiers. Ainsi, par exemple, en recommençant l'épreuve précédente avec une de ces petites éprouvettes, nous avons également trouvé que la pression négative augmentoit depuis le bas jusqu'au haut de la branche descendante, quel que fût l'enfoncement des branches verticales dans les deux réservoirs.

Bien que nos nouveaux tubes soient beaucoup moins gros que les premiers, leur section extérieure varie encore entre la seizième et la vingtième partie de la coupe intérieure des ajutages et des siphons dont nous avons fait usage. Il est donc à désirer qu'on renouvelle les essais auxquels nous nous sommes livré, en y employant des tuyaux d'un diamètre auprès duquel on puisse négliger celui des éprouvettes. Au reste, nous donnerons plus tard des expériences où la pression négative se manifeste contre la paroi même des tuyaux, et sans qu'il soit besoin d'introduire aucun corps étranger.

Dans toutes les opérations dont on va rendre compte, on a continué à se servir d'éprouvettes minces et de chapeaux étroits, excepté dans celles où l'on préviendra du contraire.

L'espèce de théorie, que nous nous sommes risqué à exposer dans la seconde note, est indépendante du milieu dans lequel dégorgent les siphons, les ajutages et les tuyaux de conduite. Des phénomènes pareils à ceux déjà observés doivent donc se présenter, quand ces diverses sortes de tuyaux se vident dans l'air. La seconde note étoit écrite depuis long-temps, lorsque nous avons voulu vérifier cette conséquence; ce que nous avons fait, pour les siphons, en y introduisant, tantôt une grosse et tantôt une petite éprouvette, l'une et l'autre recouvertes de chapeaux proportionnés à la grosseur des tubes avec lesquels elles étoient fabriquées. Il a résulté de ces épreuves, que la pression négative a encore lieu dans la branche descendante des

Digitized by Google

siphons, lorsque ladite branche ne plonge pas dans l'eau. Nous avons trouvé que cette pression est nulle à l'orifice, ou un peu au-dessous; et nous avons constaté, comme précédemment, qu'elle va en croissant à mesure qu'on s'élève, et jusqu'au-dessus du niveau du réservoir supérieur.

Il arrive cependant quelquefois, quand on se sert d'une éprouvette, grosse ou mince, coiffée d'un chapeau trop large, que la pression négative ne se fait point sentir vers le bas du siphon. On s'expliquera cette anomalie apparente, si l'on fait attention qu'il reste alors, sous le chapeau, une petite colonne d'air environnée par le liquide, qui ne tombe pas en assez grande masse pour avoir la force de la chasser; et comme cette colonne communique avec l'air extérieur par les déchiremens de la nappe d'eau environnante, il est impossible que la pression négative se manifeste. Il y a des dimensions du chapeau pour lesquelles on rétablit la pression négative, en introduisant momentanément un corps étranger, dont la présence détruit l'équilibre de la petite colonne d'air, et la décide à s'évacuer.

Lorsque la branche descendante plonge dans l'eau, mais seulement de deux ou trois millimètres; si le chapeau de l'éprouvette est fort grand, et peu élevé au-dessus du réservoir inférieur; il arrive aussi quelquefois que la pression négative, qui a lieu sous le chapeau, détermine des bulles d'air à venir s'y placer, après qu'elles ont traversé la surface du réservoir inférieur. Alors, le mercure monte moins haut dans l'éprouvette; et même il se met de niveau dans les deux branches, s'il se fait quelque déchirement dans la nappe d'eau qui entoure les bulles d'air. Ce dernier effet, que nous retrouverons ainsi que le précédent dans l'écoulement par des ajutages, est probablement dû à un défaut de verticalité dans ceux-ci et dans la longue branche des siphons. Au reste, on peut encore rétablir l'ascension du mercure, par l'introduction d'un corps étranger qui chasse les bulles d'air.

Les expériences rapportées jusqu'à présent, dans cette quatrième note, ne prouvent que pour les siphons la vérité des conséquences que nous y avons déduites de la théorie. Nous avons répété ces expériences sur des ajutages ou tuyaux verticaux et cylindriques, et nous allons en faire connoître les résultats.

L'appareil qui a été employé se compose principalement du baquet ou

Digitized by Google

réservoir supérieur dont il est parlé dans la troisième note, et au fond duquel est adapté un tuyau de fer-blanc, cylindrique et vertical, de 0^{m}, 245 de longueur et de 0^{m}, 023 de diamètre. Cet ajutage, ou tuyau d'écoulement, entre de presque toute sa longueur au milieu d'un tonneau qui sert de réservoir inférieur, et dans lequel on a la faculté de tenir l'eau à la hauteur qu'on désire; de telle sorte qu'on peut faire varier à volonté l'enfoncement du tuyau de fer-blanc, au-dessous du niveau où l'eau est entretenue dans le tonneau. On peut aussi faire couler l'eau de ce dernier, de manière qu'il soit toujours presque vide; et alors l'ajutage dégorge dans l'air, à quarante ou cinquante centimètres au-dessus du liquide inférieur. Enfin, pour mesurer approximativement la pression intérieure de l'eau qui s'échappe par cet ajutage, on a fait usage de diverses éprouvettes à chapeau; dans lesquelles on a mis successivement de l'eau ou du mercure. Il paroît inutile de présenter ici la forme des éprouvettes : on fera seulement observer qu'il est plus commode de leur donner deux ou trois coudes, afin de pouvoir considérer à la fois les deux branches de la colonne d'eau, ou de mercure, destinée à mesurer la pression. Mais dans ce cas, il faut prendre garde qu'il ne s'introduise de l'eau dans les coudes qui n'en doivent pas contenir, ce qui rendroit les mesures inexactes.

Le premier essai, auquel nous avons fait servir ces machines, a été de vérifier si la pression négative se manifesteroit par l'introduction d'une éprouvette mince, et coiffée d'un chapeau aussi petit que possible. L'élévation de l'eau ou du mercure, dans la branche la plus voisine de l'ajutage, nous a démontré l'existence de cette pression, qui nous étoit annoncée d'avance par la théorie. L'expérience a été variée avec différentes charges d'eau, et en immergeant plus ou moins l'ajutage dans l'eau du réservoir inférieur : toujours elle a eu un égal succès.

Nous avons ensuite mesuré la pression à différentes hauteurs du tuyau d'écoulement; en faisant séjourner le chapeau successivement dans toutes les parties de ce tuyau. Quel qu'ait été le niveau du réservoir supérieur, assez élevé cependant pour qu'il ne s'y formât point d'entonnoir; et de quelque longueur que l'ajutage ait été plongé dans le liquide inférieur; nous avons trouvé constamment que la pression négative

Digitized by Google

augmente depuis le bas jusqu'au haut du tuyau, que son maximum est sensiblement à l'orifice supérieur, et qu'elle se fait sentir un peu plus haut que cet orifice.

Si l'ajutage ne s'enfonce que légèrement dans l'eau du réservoir inférieur, nous avons remarqué que la pression négative s'étend un peu au-dessous de l'orifice qui y est plongé. C'est-à-dire qu'en plaçant le chapeau un peu plus bas que cet orifice, dans la direction du tuyau d'écoulement, le mercure est encore aspiré vers le chapeau. Mais quand le tuyau plonge beaucoup dans le second réservoir, la pression négative ne nous a pas paru s'étendre au-dessous de l'orifice inférieur.

Pour compléter la preuve expérimentale des résultats théoriques dont il est fait mention au commencement de cette note; il nous restoit à examiner les circonstances de l'écoulement, lorsque les ajutages, ou les tuyaux cylindriques et verticaux, dégorgent dans l'air. Nous avons donc répété les expériences précédentes, en ayant soin que l'eau du second réservoir ne pût jamais atteindre l'orifice inférieur du tuyau d'écoulement, dont elle étoit au contraire éloignée de trente à cinquante centimètres.

Soit qu'on ait employé des éprouvettes, grosses ou minces, couvertes d'un large chapeau; soit qu'on ait fait usage d'éprouvettes minces coiffées de chapeaux étroits; nous avons toujours vu la pression négative se manifester sur toute la longueur de l'ajutage, et croître depuis le bas de ce tuyau jusqu'à ce qu'elle soit parvenue à son maximum : lequel a lieu à l'orifice supérieur, ou à une si petite distance de l'orifice, que nous n'avons pu l'apprécier (1). Du reste, la pression négative est encore sensible un peu au-dessus de l'orifice supérieur, et un peu au-dessous de l'orifice inférieur. On croit même que ce dernier effet est plus prononcé, que dans le cas où l'ajutage plongeoit de quelques millimètres dans le second réservoir.

L'écoulement continuant à se faire dans l'air, si le chapeau est très-grand, par rapport à la circonférence intérieure de l'ajutage, et s'il est

---

(1) La progression de la pression négative prouve évidemment que dans les machines auxquelles cette pression serviroit de moteur, il seroit avantageux de placer la base du chapeau à l'orifice, ou très-près de l'orifice supérieur du tuyau d'écoulement.

Digitized by Google

placé vers l'orifice inférieur; on voit se renouveler l'anomalie apparente que nous avons déjà fait remarquer en parlant des siphons, et dont nous ne répéterons pas l'explication. Cette anomalie apparente subsiste, aussi bien que dans les siphons, quand l'ajutage plonge dans l'eau du réservoir inférieur, mais seulement de quelques millimètres.

Lorsqu'une des deux branches d'une éprouvette simple (1) a été placée à l'intérieur d'un ajutage, ou à l'intérieur de la longue branche d'un siphon; nous avons dit que des phénomènes différens se présentoient à la vue, selon que cette branche étoit nue ou recouverte d'un chapeau. Dans le premier cas, le mercure étoit chassé vers la branche extérieure de l'éprouvette; tandis que dans le dernier, ce liquide étoit au contraire aspiré vers la branche plongée dans le tuyau d'écoulement. Nous avons expliqué cette opposition d'effets : en disant que le choc de l'eau se communiquoit d'abord au mercure contenu dans l'éprouvette, et qu'il l'emportoit sur l'action de la pression négative, qui tendoit à aspirer le liquide métallique; mais que le choc ne pouvant plus avoir lieu, après la pose du chapeau, la pression négative se montroit seule. Si l'on admet cette explication, et si l'on est satisfait des expériences que nous avons rapportées jusqu'ici, pour prouver que la pression négative existe indépendamment des corps étrangers introduits pour la constater; on sera convaincu qu'elle se manifesteroit également, malgré que la branche de l'éprouvette fût découverte, si la position de cette branche étoit telle, que le choc de l'eau ne pût agir sur son orifice. Cette conséquence peut présenter une application utile, et dans tous les cas il est convenable de la vérifier par des observations directes.

ABCD (figure 1, planche IV) est la coupe du baquet qui nous a servi jusqu'ici de réservoir supérieur; GHIK est celle d'une éprouvette, dans les branches GH, HI de laquelle on a versé un peu de mercure, avant de faire entrer la branche IK dans le tuyau d'écoulement EF. Le réservoir ABCD étant constamment entretenu plein jusqu'à une hauteur quelconque, mais assez grande toutefois pour qu'il ne se forme pas d'entonnoir trop prononcé

(1) Par éprouvette simple, on entend celle qui n'est composée que de deux branches parallèles réunies par un coude.

Digitized by Google

au-dessus de l'orifice E; si l'on ôte un bouchon qui fermoit l'ajutage, on voit le mercure monter dans la branche HI, soit que le tuyau EF dégorge dans l'air, soit qu'il plonge peu ou beaucoup dans un réservoir inférieur, ce qui prouve encore l'existence de la pression négative dans le tuyau EF.

Cette expérience a été répétée de plusieurs manières et a toujours réussi: soit qu'on ait employé un gros tube pour confectionner l'éprouvette GHIK, soit qu'on ait fait usage de nos tubes les plus minces. Seulement, lorsque l'éprouvette étoit très-grosse et que le tuyau EF se vidoit dans l'air, ou n'avoit son orifice inférieur couvert que de deux ou trois millimètres d'eau, on a vu quelquefois se renouveler l'anomalie apparente qui a déjà été expliquée; c'est-à-dire que la nappe d'eau s'est déchirée au-dessous de l'orifice F, et que l'atmosphère ayant établi sa communication avec l'orifice K, le mercure s'est tenu de niveau dans les deux branches GH et HI.

Nous avons mis pour condition des phénomènes dont on vient de lire la description, que la surface du réservoir ABCD ne seroit pas assez voisine de l'orifice E, pour qu'il pût s'y former un entonnoir. Quand cet entonnoir est fortement prononcé, il se présente parfois un effet qu'on ne peut guère expliquer, qu'en ayant égard au ressort que le choc fait naître dans les fluides élastiques. Si l'on fait usage d'une éprouvette qui n'ait que les deux branches HI, IK (planche IV figure 1), et si la première plonge dans un vase rempli d'eau; il est évident que cette eau montera dans la branche HI, d'une hauteur qui fera équilibre à la pression négative développée au point K. Si, de plus, le coude I n'est pas assez élevé pour que l'eau atteigne jusqu'au point où l'équilibre s'établiroit; on voit également que ce liquide doit continuer son mouvement par la branche IK, et qu'il ne cessera de couler tant que les choses resteront dans cet état. Mais si nous vidons une partie de l'eau du baquet ABCD, et que nous entretenions le reste au point où l'eau forme entonnoir et entraîne avec elle un tourbillon d'air; il arrive quelquefois qu'une partie de cet air remonte dans l'éprouvette, en chasse l'eau, et sort par bulles interrompues dans le vase où plonge la branche HI, bien que ce vase soit plus élevé que le réservoir ABCD. Au reste, nous n'avons pas assez bien apprécié les circonstances dans lesquelles

Digitized by Google

a lieu cette transmission de l'air, pour nous risquer à en donner une explication.

Il nous restoit à vérifier si la pression négative, mesurée par le mercure du tube GHIK, est assujettie à la même loi que lorsqu'elle est mesurée par une éprouvette à chapeau introduite par l'orifice inférieur de l'ajutage EF. Pour y parvenir, nous avons fait descendre l'extrémité K un peu au-dessous de l'orifice inférieur du tuyau EF, et nous l'avons fait remonter graduellement jusqu'un peu au-dessus de l'orifice supérieur. Cet essai a été successivement tenté avec des hauteurs d'eau différentes dans le réservoir ABCD, et avec le tuyau EF dégorgeant dans l'air, ou plongeant plus ou moins dans le second réservoir. Le résultat a été constamment tel qu'on devoit le prévoir: la pression négative augmentoit depuis l'orifice inférieur du tuyau, et paroissoit avoir son maximum à l'orifice supérieur E, au-dessus duquel elle s'étendoit encore un peu (1). Enfin, chaque fois que l'écoulement se faisoit dans l'air, la pression négative se manifestoit un peu plus bas que l'orifice inférieur; et un effet semblable avoit lieu, quand l'ajutage ne plongeoit guère dans le second réservoir.

Les observations, dont on vient de rendre compte, permettent de simplifier les machines auxquelles la pression négative serviroit de moteur, et peut-être aussi d'en augmenter les effets. C'est en prouvant qu'à la place du tube à chapeau, dont la fonction est d'aspirer l'air, et qui a nécessairement un ou deux coudes, on peut substituer un tuyau droit et sans chapeau, lequel entreroit par l'orifice supérieur dans le tuyau d'écoulement. Il resteroit à déterminer les grosseurs que devroient avoir les deux tuyaux, pour en obtenir le maximum d'effet utile, lorsque la chute et le produit de la source seroient donnés. Quant au point où il faudroit placer l'orifice inférieur du tuyau droit chargé d'aspirer l'air; il paroît évident que c'est celui qui est situé à l'extrémité supérieure du tuyau d'écoulement, et où la pression négative est la plus grande.

---

(1) Cette pression négative, qui se fait sentir plus haut que l'orifice, rendroit fort curieuses les expériences où l'on chercheroit à mesurer la pression d'un liquide, un peu avant l'orifice en mince paroi par lequel il s'écouleroit.

Digitized by Google

Nous avons annoncé, dans la seconde note, que la contraction de la veine fluide doit faire naître la pression négative dans les tuyaux horizontaux et cylindriques (1). C'est une assertion qu'il importe de vérifier par l'expérience : soit pour elle-même, soit comme preuve de la théorie que nous avons cherché à établir.

Nous avons donc adapté, au baquet qui nous servoit de réservoir supérieur, un ajutage cylindrique et horizontal pareil à celui qui avoit une direction verticale, c'est-à-dire de $0^{mè}$, 245 de longueur sur $0^{mè}$, 023 de diamètre. Ce tuyau de fer-blanc traversoit une douve du baquet ou réservoir inférieur, dans laquelle il étoit scellé ; d'où il résultoit que d'après la hauteur à laquelle on entretenoit l'eau de ce dernier baquet, l'ajutage plongeoit dans l'air ou dans l'eau. Enfin, nous avons fabriqué des éprouvettes de diverses formes et de diamètres différens, lesquelles avoient toutes une de leurs branches extrêmes horizontale. Cette branche étoit coiffée d'un chapeau qui y étoit attaché par deux points de mastic de fontainier, et dont l'axe étoit établi horizontalement.

La figure 2, planche IV, représente l'appareil qu'on vient de décrire. On y a placé, dans l'ajutage, une des éprouvettes qui nous ont servi.

Ces éprouvettes ayant été successivement introduites, par la branche à chapeau, dans l'ajutage horizontal submergé par l'eau du second réservoir; elles ont constamment manifesté la pression négative : soit en aspirant l'eau ou le mercure versé dans les autres branches; soit en aspirant l'air extérieur qui couloit ensuite dans le réservoir inférieur, quand on n'avoit mis aucun liquide dans les éprouvettes.

L'expérience réussissoit également, quand le tuyau de fer-blanc dégorgeoit dans l'atmosphère. Dans ce cas, toutes les fois qu'on n'avoit point mis de liquide dans l'éprouvette, l'air aspiré par celle-ci sortoit encore avec le jet, et d'une manière visible.

Lorsqu'on employoit un tube à chapeau qui n'avoit qu'une seule cour-

---

(1) On sait déjà que Daniel Bernouilli avoit reconnu l'existence de la pression négative, dans des tuyaux horizontaux et évasés, dont la petite base appliquée au réservoir, la grande base extérieure, et la longueur, étoient entre elles comme les nombres 1, $\frac{9}{5}$ et 9.

Digitized by Google

bure, et dont la seconde branche, verticale et descendante, plongeoit dans un vase où le niveau de l'eau étoit plus bas que celui du réservoir inférieur, ou plus bas que l'ajutage qui se vidoit dans l'air; l'eau s'élançoit aussitôt dans la branche verticale du tube, et elle s'y soutenoit à une hauteur qui pouvoit servir de mesure à la pression négative,

Cela posé, la sortie de l'ajutage étant surmontée par l'eau du réservoir inférieur, si le nouveau vase n'étoit pas trop au-dessous du niveau de ce réservoir, il s'y vidoit entièrement; et l'on voyoit se renouveler le spectacle intéressant, d'une eau qui s'élève et coule au-dessus de son niveau, sans qu'aucune cause extérieure semble l'y provoquer.

Le nouveau vase se vidoit pareillement de bas en haut, lorsqu'il n'étoit pas placé trop au-dessous de l'ajutage, dans le cas où celui-ci dégorgeoit dans l'air.

Ces expériences prouvent évidemment l'existence de la pression négative, dans les tuyaux horizontaux et cylindriques : et d'autant plus que l'ajutage avoit été fabriqué d'un fer-blanc dont l'étamage étoit tellement *gras*, que l'eau ne le mouilloit point; ce qui devoit s'opposer en partie au développement de cette pression, ainsi que nous l'avons expliqué dans la seconde note.

Malgré la qualité du fer-blanc, nous avons trouvé que la pression négative soutenoit une colonne d'eau d'environ 0^{m}, 08 de hauteur, lorsque la charge étoit de 0^{m}, 22 sur l'orifice du tuyau d'écoulement. Nous avions fait usage d'une de nos éprouvettes les plus minces, et elle étoit couverte d'un chapeau qui en excédoit fort peu le verre.

De toutes les expériences renfermées dans les notes, et de quelques autres où les ajutages n'étoient ni horizontaux ni verticaux, on croit pouvoir tirer les conséquences qui suivent: 1°. Que quelle que soit l'inclinaison du tuyau cylindrique par lequel s'écoule un fluide incompressible (1), les mo-

(1) Il est bien entendu, néanmoins, que l'ajutage ne va pas en remontant; car, dans cette hypothèse, la pression intérieure pourroit être beaucoup plus grande que celle de l'atmosphère. Mais on croit pouvoir affirmer, d'après la théorie exposée dans la seconde note et confirmée par les suivantes, que la pression intérieure seroit moindre que celle de l'atmosphère, augmentée de la pression qu'exerceroit le liquide du réservoir inférieur, si la vîtesse de l'eau ne s'opposoit pas à la transmission de son action.

Digitized by Google

lécules de ce fluide exercent les unes sur les autres une pression moindre que celle de l'atmosphère, excepté, peut-être, le cas d'un tuyau fort étroit et dont la matière ne seroit point mouillée par l'eau. 2°. Que la différence de ces deux pressions, ou la pression negative, peut servir de moteur; lorsqu'on établit la communication de l'intérieur du tuyau d'écoulement avec une masse de liquide ou de fluide élastique. 3°. Que cette pression négative est la cause qui augmente la dépense du liquide contenu dans un réservoir, lorsqu'on substitue des ajutages, cylindriques ou évasés, à un orifice d'un égal diamètre pratiqué en mince paroi, et par lequel se faisoit d'abord l'écoulement (1).

Si nous ne nous faisons point illusion sur notre travail, on ne peut opposer à cette conclusion qu'une seule difficulté. C'est que les tubes, avec lesquels nous avons fabriqué des éprouvettes, avoient encore à l'extérieur la vingtième partie de la section intérieure de nos ajutages; d'où l'on pourroit inférer que les petits chapeaux dont ils étoient couverts étoient capables de donner naissance aux phénomènes, que nous prétendons qu'ils n'ont fait que manifester. Nous avons donné un moyen de répondre à cette objection. C'est de répéter nos essais avec des tuyaux d'écoulement d'un assez grand diamètre, pour qu'on puisse négliger auprès de lui le diamètre du chapeau. N'ayant pu nous procurer un emplacement convenable et les moyens nécessaires pour faire cette grande expérience, nous avons dû essayer de constater la pression négative sur la paroi même des ajutages, et sans introduire aucun corps qui pût la faire naître.

La figure 3, planche IV, représente la coupe d'un des appareils qui nous ont servi. AB est un tuyau de fer-blanc, cylindrique et vertical; la longueur totale en est de 0^{m}, 245, et le diamètre de 0^{m}, 023. CD est un tuyau du même métal, façonné en forme de coude, et dont le diamètre intérieur a un peu plus de 0^{m}, 011. La dernière pièce, DE, est un tube de

(1) Ce seroit un problème bien intéressant, et dont la solution feroit faire un grand pas à la théorie pratique de l'écoulement des fluides, que la recherche de la forme à donner aux tuyaux, pour que la pression négative soit nulle dans leur intérieur. Par cette expression, nous entendons que les tuyaux seroient également pressés en dehors et en dedans, d'un côté par l'eau, et de l'autre par l'atmosphère.

Digitized by Google

verre dont le diamètre intérieur a quatre ou cinq millimètres, et qu'on a scellé hermétiquement dans le tuyau CD (1).

Cet appareil n'avoit point été construit d'une manière favorable au succès de l'expérience. Le fer-blanc étoit semblable à celui de l'ajutage horizontal employé précédemment; c'est-à-dire que sa surface repoussoit fortement l'eau (2). La distance AC étoit la moitié de la longueur totale du tuyau d'écoulement AB; et conséquemment la pression négative étoit sur la surface CL bien loin de son maximum. Enfin, il semble qu'on auroit encore mieux soustrait l'ouverture CL au choc du liquide, si la branche CK avoit été en remontant, au lieu d'être horizontale. Malgré tout cela, on a obtenu des résultats favorables que nous allons faire connoître.

Le tube DE plongeant dans un petit vase plein d'eau, et le réservoir FGHI étant rempli jusqu'à un point auquel on a entretenu l'eau pendant tout le temps de l'opération; on a enlevé un obturateur qui bouchoit l'orifice A. Aussitôt, l'eau du réservoir supérieur s'est écoulée par l'ajutage AB, et celle du petit vase s'est élevée dans le tube DE, d'une hauteur à peu près égale à BC. Cet effet avoit également lieu lorsque l'orifice B étoit plongé dans l'eau du second réservoir, et lorsque le tuyau AB dégorgeoit librement dans l'atmosphère.

Il reste encore à prouver par l'expérience, l'existence de la pression négative sur les parois des tuyaux horizontaux. On y parviendra facilement à l'aide de l'appareil de la figure 4, planche IV. ABCD est un réservoir auquel on a adapté le tuyau de fer-blanc EF, qui est cylindrique et horizontal. GHK est un autre tuyau de fer-blanc, dans la branche HK duquel entre un tube de verre KLM. Ce tube est scellé hermétiquement avec la branche HK, et il a son extrémité M plongée dans un petit vase rempli d'eau. Les dimensions de l'ajutage ou tuyau d'écoulement, EF, sont les mêmes que dans la figure 3; le diamètre intérieur du tuyau GHK a 0^{m}, 012, et celui du tube KLM est de 0^{m}, 005.

Cette machine étoit construite d'une manière défavorable au résultat que

(1) On doit éprouver d'avance si l'air ne peut pas pénétrer par le scellement; ce qui empêcheroit la réussite de l'expérience, ou en altéreroit tout au moins le résultat.

(2) Voyez au bas de la page 69, ce que nous entendons par cette répulsion apparente.

Digitized by Google

nous prétendions obtenir, puisque le fer-blanc en étoit encore plus *gras* que celui des deux dernières expériences. D'ailleurs la branche GH étoit perpendiculaire à EF, et on l'auroit mieux soustraite au choc du liquide en mouvement dans l'ajutage, si on l'avoit inclinée vers le point E.

Le réservoir ABCD ayant été rempli d'eau jusqu'à un point auquel on l'a entretenu constamment, on a ôté un bouchon qui fermoit l'orifice E. Alors l'écoulement a commencé dans le tuyau EF; et une partie de l'air contenu dans le tube GHKLM s'étant évacué, l'eau du petit vase y a monté de $0^{mè},04$, pour une charge d'eau de dix à onze centimètres qui avoit lieu sur l'orifice E.

Les deux dernières expériences ont été variées, en inclinant les tuyaux d'écoulement des figures 3 et 4 de la planche IV. Le succès ne s'étant jamais démenti, malgré les circonstances qui s'y opposoient: on croit maintenant pouvoir présenter comme une loi de la nature, le principe qui a été énoncé un peu plus haut sur la pression négative.

Digitized by Google

NOTE CINQUIÈME.

SUR UNE NOUVELLE EXPLICATION DES EFFETS DU BELIER HYDRAULIQUE, ET SUR LES MOYENS QU'ON POURROIT EMPLOYER POUR AUGMENTER LE PRODUIT DE CETTE MACHINE.

La pression négative, ou la diminution de pression causée par le mouvement de l'eau dans un tuyau de conduite, peut servir à expliquer l'ascension de ce liquide produite par le belier hydraulique. Mais avant de donner une esquisse de cette application, il est nécessaire d'étendre les principes que nous croyons avoir établis.

Lorsqu'un liquide coule par un tuyau cylindrique, horizontal ou incliné (1), nous avons démontré qu'il se manifeste une pression négative, c'est-à-dire moindre que celle de l'atmosphère, si le tuyau dégorge dans l'air ou bien sous une petite profondeur d'eau. Ce phénomène n'est pas le résultat d'une loi particulière qui s'applique seulement aux tuyaux cylindriques. Nous avons vu que la pression négative augmente quand les tuyaux sont évasés, et qu'elle doit diminuer quand ils se rétrécissent; en sorte que cette pression deviendroit nulle, en supposant qu'on donnât aux tuyaux la forme que l'eau tend à prendre: ce qui veut dire qu'alors la pression intérieure seroit égale à celle de l'atmosphère. Si l'on continuoit à diminuer successivement le rapport qui existe entre l'orifice extérieur et l'orifice intérieur d'un tuyau conique; il est évident que la pression deviendroit positive, ou plus grande que celle de l'atmosphère, et qu'elle iroit continuellement en augmentant, jusqu'au point où l'orifice extérieur disparoîtroit, et où cette pression seroit égale à la somme de celles exercées par l'atmosphère, et par le li-

(1) On sait que le corps des beliers hydrauliques a toujours de la pente.

Digitized by Google

quide renfermé dans le réservoir. Cette dernière assertion résulte de ce que le liquide n'auroit plus de mouvement.

Des phénomènes semblables auront lieu dans un tuyau de conduite, cylindrique et un peu incliné, s'il communique avec la partie inférieure d'un réservoir d'eau, et si l'on ouvre successivement des orifices de diverses grandeurs à l'extrémité de cette conduite. Quelque petit que soit le premier orifice qu'on pratiquera, il donnera une vîtesse déterminée, quoique très-foible, à l'eau qui se trouve dans le tuyau. Mais l'existence de la contraction qui se forme dans la veine fluide, à l'entrée de la conduite, ne dépend pas de la quantité de la vîtesse de l'eau (1); cette vîtesse n'influe que sur l'intensité de la contraction. D'ailleurs la contraction est une des causes de diminution de la pression intérieure. Ainsi cette cause de diminution existera tout aussi bien que si le tuyau étoit entièrement ouvert par le bout; elle sera seulement moins grande. Nous avons donné, dans la seconde note, une autre cause de la diminution de la pression intérieure: c'est l'accélération de la vîtesse des tranches, dans les tuyaux qui ont de la pente (2). Cet effet de la pesanteur aura encore lieu ici; et conséquemment, quelque petite que soit l'ouverture faite à l'extrémité de la conduite, elle diminuera la pression que les molécules de l'eau contenue dans cette conduite exerceront, tant les unes sur les autres que sur les parois qui les renferment.

On conçoit parfaitement que la cause venant à augmenter, c'est-à-dire la grandeur de l'orifice, la pression intérieure ne cessera pas de diminuer. Et puisque cette pression est déjà beaucoup moindre que celle de l'atmosphère, lorsque le tuyau est entièrement ouvert par le bout: il est clair qu'il y aura auparavant une grandeur d'orifice, pour laquelle la pression intérieure sera égale à la pression atmosphérique (3); après quoi, continuant à diminuer,

---

(1) On sait que cette contraction a été remarquée dans tous les écoulemens, même sous les plus foibles charges.

(2) Il s'agissoit principalement dans cette note des tuyaux qui sont verticaux. Mais le raisonnement est le même, quelle que soit la pente; seulement il y a différence dans l'intensité de la diminution.

(3) D'après les expériences qui précèdent, on doit conclure, par induction, que la pression intérieure varieroit d'un point à l'autre dans les tuyaux coniques, ainsi que dans les tuyaux

Digitized by Google

elle deviendra ce que nous avons appelé négative, jusqu'au point où l'orifice aura le même diamètre que le tuyau d'écoulement.

Il suit des principes qu'on vient de poser, que l'intérieur du corps d'un belier (1) est successivement soumis à des pressions bien différentes. Lorsque la soupape d'arrêt ou d'écoulement est fermée, la pression intérieure se compose de celle de l'atmosphère et de celle qui est due à la hauteur de l'eau du réservoir. Si, au contraire, cette soupape est ouverte, la pression diminue par le mouvement de l'eau: au point qu'en supposant l'ouverture assez grande pour que la pression négative s'établisse; la différence des deux pressions exercées l'une après l'autre, dans le corps du belier, est égale à la somme de cette pression négative, et de la pression que produiroit le liquide si la soupape étoit fermée. Cette somme est tellement considérable, qu'on doit attendre de grands effets de l'action alternative et brus-

---

cylindriques terminés par une ouverture moins grande que leur section; et que la pression négative ne pourroit être nulle sur toute l'étendue d'un tuyau, qu'en supposant qu'il fût vertical et qu'on lui eût donné la forme que le jet affecteroit s'il étoit libre. Ainsi, l'égalité entre la pression intérieure et la pression extérieure ne peut s'entendre que d'un point déterminé, ou bien d'une sorte de pression moyenne. Mais cela ne change rien aux raisonnemens qu'on va faire; puisque la pression diminueroit pour chaque point à mesure que l'orifice extérieur augmenteroit, que pour chaque point il y auroit un instant où la différence de la pression intérieure et de la pression extérieure deviendroit nulle, en passant du positif au négatif, et que, pour tous les points, cette égalité auroit lieu bien avant que l'ouverture extérieure égalât la section du tuyau d'écoulement.

Nous venons de dire que la pression négative seroit nulle, dans un tuyau vertical qui auroit la forme que le jet tend à affecter. Cette assertion n'est pas tout-à-fait exacte; et bien que cela soit indifférent pour l'explication du belier hydraulique, nous devons le faire remarquer sous le rapport de la théorie de la pression négative. En effet, nous avons vu, dans la seconde note, que l'action attractive des parois qui sont de nature à être mouillées, s'ajoute à la pression négative; et que l'action répulsive des parois qui ne se mouillent point doit au contraire en être retranchée. Il suit de là que pour rendre nulle sur tous les points la pression négative, il faudroit, dans le dernier cas, adopter pour l'intérieur du tuyau une forme telle, qu'il y eût coïncidence parfaite entre la forme que le jet libre affecteroit, et la surface, peu éloignée de la paroi intérieure, sur laquelle l'action répulsive de cette paroi commenceroit à ne plus s'exercer. De même, puisque la force attractive de la paroi s'ajoute à la pression négative, lorsque la matière du tuyau est susceptible d'être mouillée; il faudroit au contraire, dans cet autre cas, resserrer un peu plus la surface intérieure du tuyau.

(1) Nous emploîrons indifféremment les mots corps du belier et tuyau d'écoulement.

Digitized by Google

que, de deux forces qui ont entre elles une différence qui lui est égale.

Supposons que la soupape d'arrêt soit ouverte, et que l'eau ayant acquis toute sa vîtesse, la pression intérieure ait par conséquent beaucoup diminué, au point même d'être devenue moindre que celle de l'atmosphère. Au moment où la soupape se referme (1), l'écoulement s'arrête; et conséquemment l'eau qui est dans le corps du belier se trouve tout à coup soumise à toute la pression de l'atmosphère, augmentée de celle de l'eau du réservoir. Autrement dit, la pression intérieure se trouve accrue d'une quantité égale à la pression négative qui existoit un instant auparavant, et de la pression due à l'eau du réservoir. Cette énorme augmentation de pression, laquelle agit subitement ou presque subitement, est une quantité de mouvement qui s'exerce comme un choc (2) sur les parois du tuyau d'écoulement, et qui pourroit les rompre si elles n'étoient pas assez résistantes. C'est l'effet qu'on voit quelquefois arriver aux tuyaux qui servent à la conduite des eaux domestiques, lorsqu'on ferme les robinets avec trop de précipitation.

Les tuyaux qui composent le corps d'un belier ne sont pas susceptibles de rupture. Mais la soupape d'ascension reçoit le choc comme toutes les autres parois: et parce qu'elle n'est retenue que par une pression qui ne peut pas, dans le premier moment, faire équilibre à une impulsion; elle cède et laisse monter l'eau dans le tuyau d'ascension. Ce mouvement ne devroit être que très-court; et l'action que le choc a communiquée devroit être presque aussitôt amortie, par la force retardatrice que la pesanteur imprime à la colonne d'eau soulevée. Mais le corps du siphon est élastique, il a été dilaté par le choc et doit conséquemment réagir; il y a sur-tout un matelas d'air dont le fluide élastique a été comprimé par le choc, beaucoup plus

---

(1) On pourroit se demander comment il se fait que la soupape d'arrêt puisse se fermer; puisqu'il y a dans le corps du belier une pression négative qui s'ajoute au poids de cette soupape pour s'opposer à son ascension. C'est par l'effet de l'impulsion que le choc de l'eau communique à la soupape: de même que nous avons vu, dans les siphons et dans les ajutages, l'air descendre par l'effet de ce choc; malgré la légéreté relative de ce fluide élastique, en vertu de laquelle il tendoit à s'élever.

(2) Le choc seroit instantané, si l'eau étoit parfaitement incompressible ainsi que les tuyaux qui la renferment. C'est ce qui n'a pas lieu pour ces tuyaux, ni peut-être même pour l'eau.

Digitized by Google

que si la pression étoit arrivée à son maximum par l'effet successif d'une force accélératrice; et ce matelas d'air réagit sur l'eau du tuyau d'écoulement, bien plus encore que le métal dont le tuyau est composé. Il résulte de ce nouveau choc, reçu par l'eau contenue dans le corps du belier, que cette eau est chassée en partie vers le réservoir, et en partie par la soupape d'ascension. Ce qui fait durer plus long-temps le mouvement ascensionel dans le tuyau montant.

Après cette réaction, il se fait une vibration en sens contraire dans les tuyaux, et sur-tout dans le matelas d'air. Car, on sait que les corps élastiques, soumis à un choc, et principalement les fluides aériformes, n'arrivent au repos qu'après une série d'oscillations. Celle que nous considérons produit une tendance au vide, ou à l'aspiration des fluides environnans. Mais le retour de l'eau vers le réservoir étant l'effet d'une impulsion, il doit se continuer quand elle a cessé d'agir, et jusqu'à ce que la force communiquée par l'impulsion ait été détruite, par la force retardatrice qui résulte de la pression du réservoir. Ce retour de l'eau doit donc se joindre à la nouvelle dilatation des tuyaux et du matelas d'air, pour former un vide ou tout au moins une forte tendance au vide, laquelle s'ajoute au poids du boulet qui sert de soupape d'arrêt, fait retomber ce boulet, et permet au belier de commencer une nouvelle révolution.

Nous avons dit que la réaction du matelas d'air, et celle des autres corps élastiques, repousse une partie de l'eau dans le réservoir. Tout le monde est d'accord que ce retour de l'eau est très-marqué dans tous les beliers hydrauliques, et c'est évidemment une force perdue. Pourquoi donc ne pas en empêcher la perte, en faisant usage d'une soupape de retour qui seroit située vers l'entrée du corps du belier, et qui viendroit s'appuyer sur une feuillure pratiquée à cet effet? Par ce moyen, la réaction des corps élastiques seroit presque entièrement employée à l'ascension de l'eau; ce qui augmenteroit surement le produit de la belle machine, dont l'invention seule auroit suffi pour immortaliser le nom de Montgolfier (1).

---

(1) On n'objectera pas que le jeu de la soupape de retour empêcheroit celui du boulet d'arrêt. Car l'eau chassée par le tuyau d'ascension, et celle qui rentreroit dans le réservoir avant

Digitized by Google

Si l'explication qu'on vient de donner paroît satisfaisante, on pensera surement avec nous qu'on pourroit encore accroître le produit du belier, en augmentant la pression négative qui entre comme élément dans la différence des pressions; différence que nous avons regardée comme la cause de l'ascension de l'eau. Il seroit donc bien important de faire à ce sujet des expériences, dans lesquelles on feroit varier la forme du corps du belier ainsi que la grandeur de ses soupapes; et dans lesquelles on prendroit aussi en considération la capacité et la forme du matelas d'air qui fait les fonctions d'un renflement, et qui doit influer de deux manières sur la quantité du liquide élevé par la machine. Nous regrettons beaucoup qu'à défaut de temps, et à défaut de tous les instrumens qui seroient nécessaires, nous ayons été empêché de pouvoir donner plus de développement à nos idées sur la pression négative, et privé de pouvoir obtenir des résultats assez exacts pour y appliquer le calcul. Trop heureux, cependant, si ces foibles essais étoient accueillis avec indulgence, et si l'on trouvoit qu'ils ne sont point indignes d'être continués.

---

la fermeture de la nouvelle soupape, formeroit un vide qu'augmenteroit encore la dilatation subséquente des tuyaux; ce qui seroit plus que suffisant pour faire tomber le boulet d'arrêt, que son propre poids y sollicite déjà.

Digitized by Google

EXPLICATION

DE LA PREMIERE PLANCHE

RELATIVE AUX EXPÉRIENCES CONTENUES DANS LES NOTES.

La première planche représente les instrumens qui nous ont servi à faire les expériences précédentes. Nous n'avons pas cru devoir les copier avec une exactitude minutieuse; nous avons préféré faire quelques légers changemens aux formes, pour en rendre l'usage plus commode. Ils sont dessinés à peu près tels que nous les aurions construits, si le temps ne nous eût pas manqué pour les confectionner de la sorte. Du reste, toutes les figures de cette planche, excepté la septième, sont à l'échelle de 2 à 5.

La première figure montre un des siphons que nous avons employés, avec la virole en fer-blanc, qui porte une vanne de même métal. Celle-ci ne se voit que de profil, et est destinée à entrer dans la coulisse du réservoir supérieur. Nous avons choisi ce siphon pour le représenter, plutôt qu'un autre dont la petite branche étoit beaucoup plus longue et verticale; par la raison qu'en se servant de cet autre, on ne pouvoit mesurer la pression de l'air dans tous les points de la partie horizontale, à moins d'employer un tuyau élastique.

Les lignes ponctuées indiquent, avec assez de précision, la coupe de la surface de séparation entre l'air et l'eau, dans huit états différens d'épuisement de l'air intérieur. Lorsque les choses sont dans l'état marqué par la cinquième courbe, et tout au plus quand la colonne d'eau s'est encore un peu avancée, quelques secondes suffisent pour que l'air sorte spontanément sans nouvelle succion.

La figure 2 est celle d'une éprouvette, dont l'ajutage en fer-blanc s'intro-

Digitized by Google

duit, par la longue branche, dans la branche horizontale. Cet ajutage ne peut y pénétrer que de trois à quatre centimètres; mais ceux des éprouvettes suivantes, qu'on introduit par la branche courte, peuvent parcourir d'un bout à l'autre la branche horizontale.

On peut aussi placer la branche droite de cette éprouvette, dans la longue branche du siphon; pour mesurer le ressort de l'air dans cette partie, avant que le phénomène se complique du mouvement communiqué par l'eau.

La figure 3 fait voir une autre éprouvette, dont l'ajutage, toujours en ferblanc, peut entrer par la branche courte jusqu'au bout opposé de la branche horizontale. L'eau ou le mercure, qui sert à mesurer le ressort de l'air intérieur, se met dans le coude le plus éloigné de l'ajutage, ainsi qu'il est marqué par les ménisques qui sont figurés de part et d'autre.

L'ajutage de la figure 4 peut s'adapter à la même éprouvette, ou à une semblable, quand on veut mesurer la pression dans les parties de la branche horizontale qui sont moins éloignées du réservoir supérieur. Il seroit bon d'avoir un troisième ajutage, qui tiendroit le milieu entre les deux précédens: par ce moyen, il n'y auroit pas un seul point du siphon qu'on ne pût explorer.

La figure 5 montre un tube recourbé, dont la branche AB se place dans la plus longue branche du siphon, lorsqu'il coule à plein, ou lorsque l'eau y a déjà acquis une certaine vîtesse; afin de faire voir que l'impulsion de l'eau donne lieu à l'écoulement par la branche BC.

Au-dessus de AB, on a figuré deux chapeaux, avec l'un desquels on couvre l'extrémité A, avant de l'introduire dans le siphon, quand on veut prouver la pression négative.

La branche AB se place encore dans un tuyau ou ajutage, cylindrique et vertical, par lequel l'eau s'écoule. Si l'orifice A est découvert, on voit jaillir l'eau par l'orifice C, ce qui prouve la communication du mouvement des fluides. Si au contraire l'orifice A est couvert d'un chapeau, l'air atmosphérique est aspiré, descend par la branche CB, remonte par la branche BA et dégorge sous le chapeau; d'où on le voit ensuite descendre dans le réservoir inférieur: ce qui démontre la pression négative dans les tuyaux cylindriques et verticaux.

Le tube recourbé de la sixième figure sert à constater ce dernier phéno-

Digitized by Google

mène, tant dans les siphons que dans les tuyaux cylindriques et verticaux. C'est en aspirant l'eau d'un vase placé plus bas que le réservoir inférieur, et dans lequel plonge l'extrémité A; tandis que l'extrémité B, couronnée d'un chapeau, est contenue dans la longue branche d'un siphon, ou dans un ajutage vertical par lequel une eau supérieure prend son écoulement.

Enfin la figure 7 représente, à l'échelle du cinquième, le siphon de fer-blanc avec lequel on a fait la dernière expérience, relative à l'introduction d'un filet d'air par le robinet marqué dans cette figure.

Digitized by Google

DESCRIPTION

D'UN AUTRE PROCÉDÉ

POUR EMPLIR ET VIDER LES SAS D'ÉCLUSE,

LEQUEL RÉUNIT PRESQUE TOUS LES AVANTAGES DU PRÉCÉDENT, EXCEPTÉ CEUX DE N'EXIGER AUCUNE ESPÈCE DE FERMETURE, ET DE NE POUVOIR DONNER LIEU A AUCUNE FILTRATION.

Il a fallu toute la confiance qu'inspiroient déjà les talens de M. Gauthey, pour qu'on se soit risqué à essayer sur beaucoup d'écluses à la fois l'application de ses siphons. En effet, si elle n'avoit point réussi, et qu'on eût été obligé de recourir aux ventelles pratiquées dans les portes; non-seulement on auroit perdu le surcroît considérable de dépense résultant de son système, sans autre avantage que d'affoiblir les bajoyers, les buscs et les murs de chute; mais il auroit encore fallu boucher bien solidement les siphons, et conserver la crainte que cette opération mal exécutée ne causât des filtrations et des dégradations.

Si les raisonnemens que nous avons faits laissoient du doute relativement à notre procédé; on pourroit du moins en faire l'essai sur une ou deux écluses neuves, sans courir de semblables risques. Car, d'une part, la dépense n'en seroit pas très-forte; et de l'autre, il seroit inutile de boucher les siphons en cas de non-réussite : puisque la branche de communication est au-dessus des hautes eaux, et qu'elle ne peut donner lieu à aucune filtration. Dans cette supposition, il seroit même facile d'enlever les tuyaux de fonte, moyennant une faible somme, et on les vendroit ainsi que les boîtes pour être refondus.

Digitized by Google

Ces considérations nous donnent l'espoir qu'on ne refusera pas d'éprouver la construction proposée. Cependant, si elle étoit rejetée, nous hasarderions d'en présenter une autre, qui évite un moindre nombre des inconvéniens attachés aux ventelles et aux anciens siphons; mais qui en fait disparoître assez, pour nous sembler préférable aux systèmes reçus jusqu'à présent.

Ce procédé n'est qu'une modification du précédent, et consiste à y faire un seul changement.

Nous avions d'abord établi indistinctement la branche horizontale de tous les siphons au-dessus des hautes eaux du bief d'amont; maintenant nous placerons cette branche entièrement au-dessous du point d'eau où toute navigation cesse, dans le bief auquel appartient chaque siphon. Ainsi, la génératrice la plus élevée du cylindre creux sera au niveau des plus basses eaux navigables d'amont, dans les siphons supérieurs; et au niveau des plus basses eaux navigables d'aval pour les siphons inférieurs.

Par ce moyen, les siphons d'amont se trouvant toujours entièrement au-dessous du niveau du bief supérieur, et ceux d'aval au-dessous du niveau du sas qu'ils sont destinés à vider, l'écoulement aura lieu tout naturellement; à moins qu'il ne se soit dégagé de l'air qui occuperoit la branche horizontale du siphon : et c'est à quoi l'on peut remédier, en ouvrant un instant le robinet, au commencement de la manœuvre. On n'aura donc jamais à pomper l'air des siphons supérieurs, que dans le cas où l'on voudroit assécher le bief d'amont, tandis que son niveau seroit descendu au-dessous des plus basses eaux navigables. Quant à ceux d'aval, l'emploi de la pompe n'y seroit nécessaire, qu'en supposant que les grandes portes auroient été fermées par mal-adresse, pendant que le bief inférieur auroit baissé de façon à descendre au-dessous du point de navigation. Ces circonstances, qui ne se présenteront pas tous les ans, ne peuvent être regardées comme une difficulté.

Deux observations se présentent ici : La première est que la branche horizontale étant beaucoup plus enterrée, le tuyau montant devra être beaucoup plus long que dans le premier projet, pour pouvoir recevoir le corps de pompe au-dessus du sol. La seconde est que n'ayant probable-

Digitized by Google

ment pas besoin d'épuiser l'air une fois par an, il sembleroit assez inutile d'adapter un corps de pompe à chaque siphon. Il suffiroit d'en avoir un de distance à autre, pour les cas de nécessité. Mais en supprimant le corps de pompe, il faudroit boucher hermétiquement l'ouverture du tuyau montant. En effet, si ce tuyau restoit ouvert, la pression de l'air extérieur agissant par une grande surface sur la colonne d'eau en mouvement, elle détruiroit l'effet des siphons; en sorte que l'eau ne couleroit plus qu'en vertu de la charge supportée par la section de la branche horizontale, au lieu d'avoir une vîtesse due à la différence des niveaux. Pendant la durée de l'écoulement, il faudroit aussi fermer le robinet, que dans cette seconde construction on auroit placé presque au haut du tuyau montant. Car, bien que l'ouverture en soit petite, l'air qui y passeroit, pour se rendre dans le sas ou dans le bief inférieur, réduiroit la dépense d'eau, et par la place qu'il occuperoit, et en diminuant la pression négative dans l'intérieur du siphon (1).

Les dispositions qu'on vient de décrire permettroient à l'eau un écoulement continuel: il faut donc y ajouter un clapet semblable à ceux de M. Gauthey, et placé dans le renfoncement d'amont de chaque siphon. Les modifications que cela apportera aux maçonneries sont tellement évidentes, que nous avons cru inutile de donner des planches pour les représenter.

Il est facile de s'assurer que ce nouveau système aura encore, comparativement à celui des anciens siphons, les avantages d'économiser beaucoup sur les fondations; de réduire l'épaisseur et la profondeur des bajoyers; de ne pas disjoindre les maçonneries dans un endroit aussi important; d'exiger

---

(1) Ce qui vient d'être dit résulte évidemment de la théorie que nous avons cherché à établir, relativement à l'écoulement des fluides par des siphons ou par des tuyaux droits. On peut encore s'en assurer par l'expérience. Pour cela, il suffit de placer le siphon de la figure 7 (planche I), de telle sorte que sa longue branche plonge un peu dans un vase rempli d'eau, et que sa branche horizontale soit submergée par le liquide contenu dans un autre vase. On fait ensuite sortir l'air, et quand l'écoulement se fait à plein tuyau, on ouvre le robinet. Alors, de même que dans les siphons qui s'élèvent au-dessus du réservoir supérieur; on voit l'air qui entre par ce robinet sortir en bulles par l'ouverture de la longue branche.

Cette expérience est encore une preuve des principes que nous avons émis, touchant la pression négative.

Digitized by Google

bien moins de démolitions et de reconstructions, lorsque les enveloppes des siphons auront besoin d'être réparées (1); et enfin d'être à l'abri des engorgemens.

Cependant, ce mode de construction conservera toujours beaucoup des défauts, en partie moins graves, mais pourtant très-fâcheux, reconnus aux clapets et aux siphons antérieurement construits. Ce sont les chocs subits, produits par la rapidité de l'eau, qui acquiert en un instant son maximum de vîtesse, et les dégradations qui en sont la suite (2); les dégradations causées par l'introduction de l'eau entre les siphons et la maçonnerie, ainsi que la difficulté (un peu moindre, il est vrai) de les reconnoître; la nécessité de mettre les biefs à sec pour réparer les clapets; et l'impossibilité de s'apercevoir des filtrations qui s'y établissent, à moins qu'elles ne soient très-considérables.

Les inconvéniens que nous venons de remarquer étant communs aux anciens systèmes : ils n'empêcheront point de conclure que la modification proposée offre de grands avantages sur toutes les méthodes employées jusqu'ici, pour transmettre l'eau d'un côté à l'autre des portes d'écluse; et rien ne semble s'opposer à ce qu'on lui donne la préférence sur ces méthodes. Néanmoins, nous répétons qu'il lui reste assez d'imperfections pour qu'on lui préfère, de beaucoup, la première construction que nous avons soumise à nos lecteurs. D'ailleurs, il ne se présente contre celle-ci qu'une seule objection importante, que nous croyons avoir suffisamment repoussée; et en cas de non-réussite, il n'en résulteroit que la perte d'une dépense peu considérable, sans aucun inconvénient pour la solidité des maçonneries. Nous

---

(1) Non-seulement la démolition sera beaucoup moindre que dans les anciens systèmes, lorsqu'il s'agira de réparer l'enveloppe des siphons; mais bien loin d'avoir à démolir les bucs et une partie du radier, on n'aura même pas à ôter une seule pierre du parement des bajoyers; attendu que l'on continuera à laisser un mètre de distance entre la face de ces derniers et les tuyaux de fonte.

(2) Si l'on se reporte à ce qui a été dit dans le premier Mémoire, on se convaincra toutefois que ces dégradations seront moindres que dans les systèmes de M. Gauthey, et du Canal de Saint-Quentin; dans le dernier desquels on a vu qu'elles sont déjà beaucoup moins grandes que dans le système des ventelles.

On doit en dire autant des dégradations qui pourroient se manifester entre les siphons et la maçonnerie; car elles seront dues à une charge d'eau moins forte.

Digitized by Google

persistons donc à proposer, sur une ou deux écluses, l'essai des siphons supérieurs aux hautes eaux. Le grand système de navigation dont on s'occupe en ce moment, va faire construire un tel nombre de ces ouvrages, que nous espérons obtenir cette faveur.

C'est cette espérance qui nous empêche de parler d'un troisième système; qui consisteroit à établir la branche horizontale des siphons d'aval à la hauteur à laquelle nous venons de placer celle des siphons supérieurs. Il est clair qu'il faudroit alors conserver en permanence les corps de pompe sur les tuyaux montans des siphons d'aval; de peur qu'il ne vînt à se dégager de l'air dans la branche horizontale. Mais on n'auroit pas habituellement à faire usage de ces pompes; et il ne pourroit jamais y avoir que quelques coups de piston à donner, sur la fin de l'écoulement.

Digitized by Google

Digitized by Google

CONSIDÉRATIONS

SUR

LE DÉVELOPPEMENT ET LA LARGEUR

A DONNER AUX PARTIES COURBES DES CANAUX.

En construisant un canal, on a l'intention que les bâtimens s'y croisent ou qu'ils ne s'y croisent pas.

Dans le dernier cas, que la navigation se fasse toujours dans le même sens, ou qu'elle soit alternative, il suffit que les courbes ayent été tracées de telle sorte, qu'un bateau y tourne sans être arrêté nulle part. Mais quand la navigation est à la fois ascendante et descendante; il ne suffit pas que deux bâtimens isolés puissent manœuvrer de façon à s'éviter mutuellement, et à se livrer passage, lorsqu'ils veulent se croiser ou se doubler. Il faut encore qu'une flotte, qui seroit arrêtée ou en mouvement sur une des rives, permette à un bateau ou à une autre flotte de se croiser ou bien de se doubler avec elle, sans qu'il en résulte aucune espèce de gêne, ni aucun dérangement dans les mouvemens ou dans la position de la première. Cette condition exige, soit une plus grande largeur du canal, soit un plus grand développement des courbes : c'est ce qu'on va prouver, en faveur de ceux qui n'ont pas l'habitude de ces matières.

Soient RS, TU (fig. 1, pl. V), les courbes qui terminent la section faite dans un canal, par le plan horizontal mené à la hauteur du fond des bateaux (*a*). Soient de plus CDEF, EDHI, les sections des bateaux : elles sont supposées rectangulaires, et telles que les bâtimens étant côte à côte, ainsi qu'ils sont représentés, les points I et H se trouvent sur la courbe

(*a*) Nous le nommerons désormais plan du tirant d'eau.

Digitized by Google

extérieure, tandis que le côté FC est tangent à l'autre courbe. Prolongeons FC, DE. Il est clair que le bateau CDEF aura la faculté de se mouvoir dans la zone EFLM, sans autre obstacle que le frottement; et qu'il pourra prendre la position ponctuée KLMN. Alors, si DM est plus grand que DG, l'angle K sera à droite du point A et un peu distant de la courbe TU; il sera donc facile de faire tourner le bâtiment sur l'angle N, jusqu'à ce que le côté KL rencontre TU. Dans cette position, à moins que la courbure n'augmente tout à coup très-rapidement, au lieu d'être uniforme comme dans la figure, il se trouvera un espace vide entre la courbe extérieure et la nouvelle position du point M; ce qui donnera la liberté de faire glisser le bateau dans la nouvelle direction des lignes KL, NM, de manière que le point M vienne une seconde fois frapper la courbe RS. Or, le point K s'étant encore éloigné de la limite intérieure, le bateau recommencera à tourner autour du point N, afin de s'appuyer de nouveau sur TU. On continuera de la sorte, pour dégager entièrement les deux bâtimens; ce qui ne peut manquer d'arriver, puisqu'à chaque fois l'angle N file sur le côté ED.

En supposant que la courbure n'augmente pas avec trop de rapidité dans la partie IFTR; un raisonnement semblable prouveroit que le bateau CDEF auroit l'aisance nécessaire pour sortir de ce côté. Et comme il reviendroit à sa première place, par une manœuvre contraire à celle qui l'en auroit dégagé; on doit en conclure que deux bâtimens rectangulaires pourront se croiser et se doubler dans les parties curvilignes, si la largeur du canal n'est nulle part plus petite que le double de leur largeur, augmenté de la flèche de courbure correspondante à leur longueur, autrement dit, si les deux bateaux peuvent être mis par-tout côte à côte; pourvu toutefois qu'une autre condition soit encore remplie : c'est que, dans la position où nous venons de placer les bâtimens, celui qui touche la courbe convexe ait toujours l'aisance nécessaire pour se mouvoir en ligne droite, de plus de la moitié de sa longueur.

Ce principe étant établi, supposons inscrits à la courbe RS, deux bateaux qui se touchent, EDHI, DVQP. Le bâtiment CDEF ne sauroit avancer vers SU, sans pénétrer DVQP : ainsi, se trouve prouvée l'assertion précédente,

Digitized by Google

qu'il ne suffit pas que deux bateaux isolés ayent la faculté de se croiser et de se doubler.

Le développement qu'on doit donner aux courbes limites d'un canal, et la distance qu'il faut conserver entre ces lignes, dépendent de la figure des bâtimens. Il y a même telles formes qui permettent aux flottes de se croiser et de se doubler entre deux courbes; bien que la distance de celles-ci ne surpasse point la largeur de deux bateaux réunis.

Soient MN, RS (fig. 2, pl. V), deux cercles qui terminent la section d'un canal, faite comme ci-dessus par le plan horizontal du tirant d'eau; et soit PQ le cercle milieu. Supposons de plus que deux bateaux, DE, FG, ont dans leur plus grande largeur la moitié de celle du canal; et que leurs bords sont, ainsi que dans la figure, des courbes d'un rayon plus petit que OB. Il est évident que DBEA se mouvant avec le rayon OA, sans qu'ils changent de position l'un par rapport à l'autre, le bateau ne sortira pas de l'espace RSQP; tout comme il sera libre à FCGB de tourner dans l'espace MNQP, sans en franchir les limites. Les deux bateaux ne seront donc exposés qu'à se frotter en un seul point.

Ce qu'on vient de dire du bateau DBAE, s'appliqueroit également à tout autre bateau de même forme qui marcheroit derrière lui; d'où il suit qu'une flotte de pareils bateaux pourroit se mouvoir entre RS et PQ, sans sortir de l'espace que renferment ces courbes. Un raisonnement semblable prouveroit qu'une flotte de bateaux, pareils à FCGB, auroit la faculté de marcher dans le même sens, ou dans un sens contraire, sans dépasser les limites MN, PQ; en sorte que les deux flottes ne seroient jamais exposées qu'à frotter l'une contre l'autre. De là on tire cette règle : qu'en adoptant pour la section des bateaux une forme cintrée, et y donnant pour plus grande largeur, la moitié de celle du canal, le croisement sera toujours possible; avec la seule condition que les parties curvilignes n'auront nulle part une courbure plus grande que celle des bordages des bâtimens.

Dans les canaux creusés pour un seul bateau, si la dernière condition que nous venons d'établir étoit remplie, il seroit suffisant que la section du canal et celle du bateau eussent une égale largeur.

Cette propriété, de tourner très-court, est extrêmement précieuse; prin-

Digitized by Google

cipalement dans les vallées étroites et accidentées. Ne seroit-il pas permis de penser que tel a été un des motifs des anciens ingénieurs, pour employer des bâtimens et des sas curvilignes dans les canaux du Midi? Maintenant que ces formes sont proscrites pour les écluses, à cause de l'augmentation de dépense qu'elles entraînent, et aussi par la difficulté de les bien exécuter (*a*); la forme des bateaux se réglera nécessairement sur celle des sas, sauf un peu d'arrondissement par les bouts (*b*). Car l'administration et les mariniers auront un semblable intérêt à cette innovation : puisque les bateaux qui ne remplissent pas la coupe horizontale des écluses dépensent, pour leur passage, à peu près la même quantité de temps et d'eau que s'ils étoient plus grands (*c*); et qu'il en coûte le même prix pour les haler. D'après cette considération, nous supposerons désormais que la section des bâtimens est un rectangle.

Dans les canaux construits pour un seul bateau, il suffit de déterminer

---

(*a*) Cette difficulté augmenteroit encore maintenant; par l'adoption du système qui rejette entièrement l'usage de la pierre de taille, dans la maçonnerie des bajoyers, pour ne plus employer que du moellon en parement.

(*b*) Dans le département du Nord et dans la Belgique, où il existe depuis long-temps des canaux, les bâtimens ne se terminent pas en pointe, comme sur nos rivières de l'intérieur : leur plan ne diffère presque pas d'un rectangle.

(*c*) Nous disons à peu près : attendu que, dans les circonstances ordinaires, un bâtiment dépense, par son passage à une écluse, un volume d'eau égal au prisme de chute, augmenté ou diminué du cube de l'eau déplacée par la carène, selon que le bateau monte ou descend.

On peut conclure de ce principe, que dans une navigation purement descendante, telle qu'elle existe en Angleterre pour l'exploitation de certaines mines de houille, il seroit facile d'éviter la dépense des éclusées, et qu'on pourroit même se servir du passage des bateaux pour faire remonter l'eau d'un bief dans un autre; sans qu'il fût besoin pour cela d'employer les plans inclinés, les écluses à sas mobile, ni aucune autre machine. Il n'y auroit qu'à réduire les chutes à une hauteur moindre que le tirant d'eau des bâtimens : de telle sorte que le produit de la section horizontale et moyenne du bateau par la profondeur dont il s'enfonce, égalât ou surpassât le produit de la section horizontale de l'écluse par la hauteur de la chute.

Il est vrai que les bateaux vides ne remonteroient pas, excepté dans la saison où il y auroit surabondance d'eau. Mais cela pourroit n'avoir aucune espèce d'inconvénient, dans un pays abondant en bois. Dans le cas contraire, on pourroit imaginer des bateaux qui se démonteroient, et dont on pourroit charger les morceaux de plusieurs sur un seul; ce qui diminueroit le nombre des éclusées nécessaires pour la remonte.

On peut consulter, sur cette espèce de navigation, les mémoires que M. Girard a publiés dans les tomes XIV et XVIII des Annales de chimie.

Digitized by Google

la relation entre la courbure et la largeur des parties curvilignes, de manière qu'un bâtiment se meuve tout juste, en frottant contre les talus. Et dans le cas de deux navigations opposées, il suffit d'établir la relation pour que deux flottes se croisent ou se doublent, en frottant quelquefois l'une contre l'autre, et chacune contre les talus. Ce n'est pas qu'il ne faille un peu plus d'aisance, pour faciliter la manœuvre et pour éviter de dégrader les terrasses. Mais, après avoir résolu le problème, tel que nous le posons, on est toujours maître d'ajouter ce qu'on veut au résultat. Au reste, il n'y a aucune règle générale qu'on puisse donner au sujet de cette augmentation; puisque cela dépend beaucoup de l'activité présumée du commerce.

La forme la plus pure, qui convienne aux parties curvilignes, est sans contredit déterminée par deux cercles concentriques. L'égalité de distance, jointe à l'uniformité de courbure qui la caractérise, présente l'avantage que si deux flottes se croisent en un lieu, elles peuvent se croiser d'un bout à l'autre. Tandis qu'avec toute autre figure, on est obligé de choisir entre le mauvais effet de deux courbes inégalement espacées, et la dépense qu'il faudroit faire pour élargir inutilement le canal, de façon à obtenir l'équidistance : encore, dans la première alternative, la dépense est-elle déjà plus forte; puisque la moindre largeur du canal est ordinairement celle qu'on auroit eue sur toute la longeur, en employant deux cercles équi-distans.

Ce n'est pas que nous prétendions dire qu'il ne faut jamais renoncer aux formes circulaires concentriques. Les localités obligent quelquefois à les abandonner; et c'est pour cela que nous allons indiquer le moyen de reconnoître la limite, jusqu'à laquelle on peut employer ce tracé.

Comme c'est ordinairement le trop grand développement à donner aux courbes, qui décide l'adoption des raccordemens irréguliers; le problème à résoudre est celui-ci. Étant donné la longueur et la largeur des bateaux, trouver la relation qui doit exister entre la largeur de la section du canal faite par le plan du tirant d'eau, et les rayons des cercles qui terminent cette section, pour que les bateaux passent juste. Bien entendu que lorsqu'on appliquera la solution, après avoir ajouté quelque chose, dans l'intention de faciliter le passage, on augmentera encore les rayons toutes les fois que cela sera possible; afin d'avoir des développemens plus beaux et plus commodes.

Digitized by Google

Canaux pour une seule largeur de bateau, avec raccordemens concentriques et circulaires.

MN, PQ (pl. V, fig. 3), sont deux cercles qui terminent la section faite dans un canal par le plan du tirant d'eau, c'est-à-dire par un plan horizontal passant par le fond des bateaux, lorsqu'ils sont à leur maximum de charge. Le bateau ABCD devant passer juste, il faut qu'il soit toujours tangent au cercle intérieur, et qu'il touche en même temps le cercle extérieur par ses angles C et D. En effet, si ABCD tourne autour du centre O avec le rayon OR, et sans changer de position par rapport à ce rayon; il est évident que les points C et D parcourront la circonférence PQ, que le point E décrira la circonférence MN sans cesser d'être le point de tangence de AB avec cette dernière ligne, et que le bateau ABCD ne rencontrera conséquemment aucun obstacle, si ce n'est le frottement des trois points C, D, E, contre les deux courbes. D'ailleurs, il seroit facile de démontrer qu'en rapprochant les deux cercles, on n'y pourroit plus inscrire le rectangle ABCD. Donc le canal MNPQ est le plus étroit, parmi tous ceux dans lesquels on peut faire tourner un bateau.

Soit le rayon OR ou OC = R, le rayon OE = r, la largeur du canal ou la distance ER = a, la longueur des bateaux CD = l, la largeur EF = λ. On aura,

$$\overline{OC}^2 = \overline{OF}^2 + \overline{FC}^2 = (r+\lambda)^2 + \tfrac{1}{4}l^2.$$

Et comme

$$OC = R = r + a,$$

il viendra

$$(r+a)^2 = (r+\lambda)^2 + \tfrac{1}{4}l^2.$$

D'où l'on tire

$$r = \frac{\frac{1}{4}l^2 + \lambda^2 - a^2}{2(a-\lambda)} = \frac{l^2}{8(a-\lambda)} - \frac{a+\lambda}{2}.$$

Cette formule bien simple le devient encore davantage, si l'on néglige le dernier terme pour faciliter un peu plus la navigation. Cela peut surtout se faire quand la longueur des bâtimens l'emporte beaucoup sur leur largeur. En voici un exemple.

Digitized by Google

Supposons $5^{mè}$, oo de largeur au canal, dans la section du tirant d'eau, $4^{mè}$, 80 pour la largeur des bateaux, et que leur longueur soit de $36^{mè}$, oo. Pour donner de l'aisance à la manœuvre, nous calculerons les rayons en supposant un mètre de plus à cette longueur; et nous aurons, $a=5^{mè}$, oo, $l=37^{mè}$, oo, $\lambda=4^{mè}$, 80 : d'où l'on tire $r=850^{mè}$, 77 en employant toute la formule, et $r=855^{mè}$, 67 en négligeant le dernier terme.

Si l'on appelle ρ, le rayon moyen qui appartient à l'axe du canal, on aura

$$\rho=r+\tfrac{1}{2}a=\frac{l^2}{8(a-\lambda)}-\frac{\lambda}{2}.$$

Canaux pour le passage de deux bateaux, avec raccordemens concentriques et circulaires.

MN (pl. V, fig. 4) est le cercle extérieur de la section que détermine dans un canal le plan du tirant d'eau; et une flotte est rangée de manière que chaque bateau touche ses deux voisins, et qu'il a les deux extrémités d'un de ses côtés à la circonférence.

D'après ce qu'on a vu plus haut, cette flotte peut se mouvoir en masse, ou par partie, sans qu'aucun des bâtimens soit obligé de dépasser le cercle PQ, tangent à l'un quelconque d'entre eux. Ainsi, pour le passage d'un autre bateau ou d'une autre flotte, il suffira de tracer le cercle RS, de telle sorte qu'un bateau puisse se mouvoir tout juste entre ce cercle et la courbe PQ. Il est même vrai de dire que les bateaux auront parfois un peu plus d'aisance que si PQ étoit un obstacle réel. En effet, dans la position où l'on voit le bateau C, son centre et le centre des cercles se trouvant en ligne droite avec le point de contact des bateaux A et B; ses deux angles D, E, s'appuîront sur le cercle intermédiaire, un peu au delà des points de contact F et G des deux bateaux extérieurs. Mais le vide qui en résulte est si peu de chose, qu'il ne donneroit pas une facilité appréciable. En outre, les bâtimens A et B, au lieu de se toucher, pourroient conserver une distance telle, que les points milieux, F et G, se trouvassent éloignés l'un de l'autre d'une longueur de bateau; et alors le bateau C, dans une de ses positions, toucheroit ces deux points avec les angles D, E, tandis que

Digitized by Google

du côté opposé il seroit tangent à RS. Il se trouveroit donc serré comme si PQ étoit une courbe matérielle, et conséquemment tout l'espace compris entre MN et RS est nécessaire au passage de deux flottes.

Nous allons partir de cette considération, pour déterminer la relation qui doit exister entre les rayons des cercles, la largeur du canal et les dimensions des bâtimens.

Soit MN (fig. 5, pl. V) le cercle intérieur autour duquel se meut le bateau ABCD, en s'appuyant toujours sur la circonférence par le milieu E du côté AB; l'angle C ou D décrira le cercle qui est minimum, parmi ceux que le bateau ne sera point obligé de dépasser dans son mouvement. Et si un autre bateau, GHIK, tourne sur ce cercle PQ, en le touchant continuellement par le milieu C du côté GH; les sommets, I, K, décriront un troisième cercle RS, qui sera la limite extérieure du canal, pour que deux flottes passent juste et avec frottement, tant entre elles que sur les talus. C'est la conséquence immédiate de la dernière démonstration.

Nommons encore l et λ la longueur et la largeur des bateaux, a la largeur du canal ou la distance des cercles MN, RS; et désignons comme précédemment par R et r, les rayons des cercles extrêmes, RS et MN.

Les triangles rectangles OFC, OLI donnent

$$\overline{OC}^2 = \overline{OF}^2 + \overline{FC}^2 = (r+\lambda)^2 + \tfrac{1}{4}l^2, \qquad (1)$$

$$\overline{OI}^2 = \overline{OL}^2 + \overline{LI}^2 = (OC+\lambda)^2 + \tfrac{1}{4}l^2. \qquad (2)$$

Substituant dans l'équation (2) la valeur de OC, et mettant $r+a$ à la place de OI, on aura :

$$(r+a)^2 = \{\sqrt{(r+\lambda)^2+\tfrac{1}{4}l^2}+\lambda\}^2 + \tfrac{1}{4}l^2. \qquad (3)$$

Et en développant et réduisant,

$$2ar + a^2 = 2r\lambda + 2\lambda^2 + \tfrac{1}{2}l^2 + 2\lambda\sqrt{(r+\lambda)^2+\tfrac{1}{4}l^2}. \qquad (4)$$

Cette équation peut être mise sous la forme

$$2(a-\lambda)r + a^2 - 2\lambda^2 - \tfrac{1}{2}l^2 = 2\lambda\sqrt{(r+\lambda)^2+\tfrac{1}{4}l^2}; \qquad (5)$$

qui donne, en faisant disparoître le radical,

Digitized by Google

$$4(a^2-2a\lambda+\lambda^2)r^2+4(a^2-2\lambda^2-\tfrac{1}{2}l^2)(a-\lambda)r + (a^2-2\lambda^2-\tfrac{1}{2}l^2)^2=4\lambda^2[(r+\lambda)^2+\tfrac{1}{4}l^2]. \quad (6)$$

Développant et réduisant encore, on trouve

$$4(a^2-2a\lambda)r^2+4(a^3-a^2\lambda-2a\lambda^2-\tfrac{1}{2}al^2+\tfrac{1}{2}l^2\lambda)r + a^4-4a^2\lambda^2-a^2l^2+l^2\lambda^2+\tfrac{1}{4}l^4=0. \quad (7)$$

D'où l'on tire

$$r=-\frac{a^3-a^2\lambda-2a\lambda^2-\frac{1}{2}al^2+\frac{1}{2}l^2\lambda}{2(a^2-2a\lambda)}\pm\frac{1}{2(a^2-2a\lambda)}\sqrt{[a^6-2a^5\lambda + a^4\lambda^2-4a^4\lambda^2+4a^3\lambda^3+4a^2\lambda^4-a^4l^2+a^3l^2\lambda+2a^2l^2\lambda^2+\tfrac{1}{4}a^2l^4 + a^3l^2\lambda-a^2l^2\lambda^2-2al^2\lambda^3-\tfrac{1}{2}al^4\lambda+\tfrac{1}{4}l^4\lambda^2-(a^6-4a^4\lambda^2-a^4l^2 + a^2l^2\lambda^2+\tfrac{1}{4}a^2l^4-2a^5\lambda+8a^3\lambda^3+2a^3l^2\lambda-2al^2\lambda^3-\tfrac{1}{2}al^4\lambda)]}.$$

En réduisant les polynomes dont se compose cette expression, et la décomposant ensuite en facteurs, on lui donnera la forme

$$r=\frac{-a(a+\lambda)(a-2\lambda)+\frac{1}{2}l^2(a-\lambda)\pm\lambda\sqrt{[a^2(a-2\lambda)^2+\frac{1}{4}l^4]}}{2a(a-2\lambda)}. \quad (8)$$

Si au lieu de r, on vouloit avoir le rayon $\rho\,(a)$, du cercle moyen qui fait partie de la directrice du tracé; il faudroit ajouter $\frac{1}{2}a$ à l'expression précédente, et il en résulteroit :

$$\rho=-\frac{\lambda}{2}+\frac{\frac{1}{2}l^2(a-\lambda)\pm\lambda\sqrt{[a^2(a-2\lambda)^2+\frac{1}{4}l^4]}}{2a(a-2\lambda)}. \quad (9)$$

Le problème que nous nous sommes proposé est résolu par cette formule simple. Mais comme il n'est évidemment susceptible que d'une solution, il reste à savoir quel signe on doit donner au radical.

Pour en faire le choix, il faut remonter à la manière dont la question a été mise en équation; et voir comment la solution étrangère s'est introduite. Chacune des équations (2) et (3), qui sont équivalentes, exprime la con-

(a) Il ne faut pas confondre ce rayon moyen avec le rayon du cercle intermédiaire PQ.

Digitized by Google

dition du problème : et elles le font sans aucune ambiguité, puisque le radical y a un signe déterminé. Mais ensuite, pour séparer l'inconnue, on a été obligé de faire disparoître le radical $\sqrt{[(r+\lambda)^2+\frac{1}{4}l^2]}$. Conséquemment, tous les résultats obtenus depuis l'équation (5) appartiennent également à la question proposée, et à une autre dans laquelle ce radical seroit négatif. D'ailleurs, le radical est l'expression de la ligne OC; donc une des solutions est relative au cas où OC seroit négatif dans l'équation (2), et où l'on auroit pour condition du problème

$$\overline{OI}^2 = (-OC+\lambda)^2+\tfrac{1}{4}l^2 = (OC-\lambda)^2+\tfrac{1}{4}l^2.$$

C'est-à-dire que la seconde solution a pour but de déterminer les cercles décrits, en supposant que le rectangle GHIK ait tourné autour de GH ; et que le cercle extérieur, dont la distance à MN est donnée, soit tracé par les points I et K ainsi renversés. Ce nouveau problème ne paroît pas susceptible d'application utile à la navigation; mais l'examen que nous venons de faire servira à distinguer la solution véritable de celle qui n'est qu'une superfétation, due à la fécondité de l'analyse.

Le premier moyen qui se présente est de substituer dans l'équation (3) la valeur de r déterminée par l'équation (8); et de conserver les deux signes, afin de voir quel est celui qui rend l'équation (3) identique, dans l'hypothèse où le radical $\sqrt{(r+\lambda)^2+\frac{1}{4}l^2}$, qui représente OC, est positif. Mais si l'on prend la peine de répéter le calcul (*a*), on verra que les deux signes de l'équation (8) rendent également identique l'équation (3). Ce qui tient à la généralité de l'analyse, laquelle suppose toujours le double signe à un radical, bien que nous ne lui en ayons donné qu'un. D'après cela, il faut recourir aux valeurs que peut prendre le radical $\sqrt{(r+\lambda)^2+\frac{1}{4}l^2}$, dont le signe sert de caractéristique aux deux problèmes.

Dans le cours du calcul que nous venons de citer, on trouve, après plusieurs réductions, que ce radical, tel qu'il est employé dans l'équation (3), a pour valeur

(*a*) La petitesse du format est cause que nous n'avons point inséré ici ce calcul purement algébrique, qui auroit exigé plusieurs lignes pour un seul radical faisant partie du numérateur d'une fraction. On peut copmter sur les résultats qui servent à établir ce qui suit.

Digitized by Google

$$\frac{\frac{1}{2}\lambda l^2 - a\lambda(a-2\lambda) \pm (a-\lambda)\sqrt{a^2(a-2\lambda)^2+\frac{1}{4}l^4}}{2a(a-2\lambda)}. \qquad (10)$$

Mais, tant que le problème proposé est physiquement possible, autrement dit, tant que a est plus grand que 2λ, nous savons que le radical doit être positif; il faut donc aussi que l'expression (10) le soit toujours dans ce cas, ce qui ne dépend que de son numérateur. Or le dernier terme de celui-ci est plus grand que $\frac{1}{2}(a-\lambda)l^2$, qui est lui-même plus grand que $\frac{1}{2}\lambda l^2$, à cause de $a > 2\lambda$; ainsi le radical $\sqrt{(r+\lambda)^2+\frac{1}{4}l^2}$, ou OC, pourroit être négatif, si l'on prenoit le signe inférieur dans l'expression (10). Et comme ce signe répond au signe inférieur des équations (8) et (9), il en résulte qu'il ne faut garder que le signe supérieur, et écrire ainsi ces deux formules :

$$r = \frac{-a(a+\lambda)(a-2\lambda)+\frac{1}{2}l^2(a-\lambda)+\lambda\sqrt{[a^2(a-2\lambda)^2+\frac{1}{4}l^4]}}{2a(a-2\lambda)} \qquad (11)$$

$$\rho = -\frac{\lambda}{2}+\frac{\frac{1}{2}l^2(a-\lambda)+\lambda\sqrt{[a^2(a-2\lambda)^2+\frac{1}{4}l^4]}}{2a(a-2\lambda)}. \qquad (12)$$

(a) On trouvera, en ajoutant a au premier résultat,

$$R = \frac{a(a-\lambda)(a-2\lambda)+\frac{1}{2}l^2(a-\lambda)+\lambda\sqrt{[a^2(a-2\lambda)^2+\frac{1}{4}l^4]}}{2a(a-2\lambda)}. \qquad (13)$$

Appliquons ces formules à un canal dont le fond de cuve auroit $10^{mè}$,00 de largeur, dont les talus auroient 3 de base pour 2 de hauteur, et dans lequel les bateaux devroient avoir constamment au moins $0^{mè}$, 10 d'eau sous

---

(a) Les personnes trop peu familiarisées avec l'analyse pour bien entendre ce qui précède, et celles qui ne voudroient pas répéter de longs calculs, pourront employer un moyen plus simple pour s'assurer du signe qui convient au radical : c'est d'appliquer la formule (8) à des cas particuliers, dont le résultat se démontre à priori. Par exemple, on peut supposer successivement $a = 2\lambda$, $a = 0$, $r = \infty$, $r = 0$, etc. On trouvera, par ce procédé indirect, que le signe +, donné au radical, est le seul qui résolve la question proposée.

La discussion des valeurs particulières de l'équation (8) est fort intéressante, principalement à cause des valeurs négatives que prend le rayon du cercle, et desquelles on peut se rendre parfaitement compte, à l'aide de la géométrie. Mais comme ces solutions ne sont d'aucune utilité pour la navigation, nous croyons devoir les passer sous silence.

Digitized by Google

leur fond (*a*). On aura alors $a = 10^{m\grave{e}}, 30$; et si l'on suppose, comme on a déjà fait, $l = 37^{m\grave{e}}, 00$, et $\lambda = 4^{m\grave{e}}, 80$; on trouvera pour le moindre développement à donner aux courbes $\rho = 486^{m\grave{e}}, 54$.

La longueur des bâtimens l'emportant habituellement beaucoup sur leur largeur, et sur la largeur des canaux, on peut ordinairement négliger le premier terme sous le radical, et alors ces formules deviennent

$$r = -\frac{a+\lambda}{2} + \frac{l^2}{4(a-2\lambda)}. \qquad (14)$$

$$\rho = -\frac{\lambda}{2} + \frac{l^2}{4(a-2\lambda)}. \qquad (15)$$

$$R = \frac{a-\lambda}{2} + \frac{l^2}{4(a-2\lambda)}. \qquad (16)$$

Le résultat approximatif, donné par l'équation (15), est pareil à celui qu'on obtiendroit de la formule relative au passage d'un seul bateau, si l'on changeoit a en $\frac{1}{2}a$ dans cette dernière : ce qui reviendroit à résoudre le problème dans l'hypothèse où il ne passeroit qu'un bateau au lieu de deux, et où le canal auroit une largeur deux fois moindre.

On tirera encore cette conclusion, que pour le double passage, ainsi que pour le passage simple, les rayons, et sur-tout le plus grand, sont sensiblement proportionnels au carré de la longueur des bâtimens; et qu'ils sont sensiblement en raison inverse de la différence qui existe, entre la largeur du canal et la largeur, ou la double largeur des bâtimens, suivant l'espèce de la navigation.

Dans l'exemple qu'on vient de se proposer, la moindre valeur du rayon moyen a été trouvée de près de cinq cents mètres. On doit en conclure que pour les bateaux dont la longueur est considérable, et même pour ceux qui sont plus courts, les localités doivent souvent s'opposer à ce qu'on puisse donner des développemens tels, qu'ils permettent de conserver, dans les courbes, les largeurs fixées pour les parties droites. Il est donc inté-

---

(*a*) Ces dimensions avoient été prescrites au canal pour lequel nous avons composé le projet d'écluse qui occupe la première partie de ce volume.

Digitized by Google

ressant, lorsqu'une des courbes extrêmes est déterminée par le terrain, de pouvoir calculer la largeur du canal qui permettra aux bateaux de se croiser.

Supposons que la courbe intérieure est circulaire, et donnée par son rayon r. On calculera la largeur du canal, dans la partie curviligne, au moyen de l'équation (3), de laquelle on tire :

$$a = -r + \sqrt{\left[\sqrt{(r+\lambda)^2 + \tfrac{1}{4}l^2} + \lambda\right]^2 + \tfrac{1}{4}l^2}. \qquad (17)$$

Si au contraire le rayon R de la courbe extérieure étoit connu, on auroit a et r par les mêmes triangles rectangles qui ont donné les équations (1) et (2), et desquels on tire (pl. I, fig. 5) :

$$\overline{OL}^2 = \overline{OI}^2 - \overline{LI}^2 = R^2 - \tfrac{1}{4}l^2;$$

$$OC = OL - CL = \sqrt{R^2 - \tfrac{1}{4}l^2} - \lambda;$$

$$\overline{OF}^2 = \overline{OC}^2 - \overline{CF}^2 = \left(\sqrt{R^2 - \tfrac{1}{4}l^2} - \lambda\right)^2 - \tfrac{1}{4}l^2 = R^2 - \tfrac{1}{2}l^2 + \lambda^2 - 2\lambda\sqrt{R^2 - \tfrac{1}{4}l^2};$$

et enfin

$$OE = OF - FE = OF - \lambda,$$

qui peut s'écrire

$$r = \sqrt{R^2 - \tfrac{1}{2}l^2 + \lambda^2 - 2\lambda\sqrt{R^2 - \tfrac{1}{4}l^2}} - \lambda. \qquad (18)$$

La valeur de a se déduira de cette formule, par la relation $a = R - r$, d'où l'on conclut

$$a = R - \sqrt{R^2 - \tfrac{1}{2}l^2 + \lambda^2 - 2\lambda\sqrt{R^2 - \tfrac{1}{4}l^2}} + \lambda. \qquad (19)$$

Considérations sur les raccordemens auxquels on ne peut employer des courbes circulaires équi-distantes.

Dans la supposition qui va désormais nous occuper, celle où le terrain s'opposeroit à ce qu'on développât des courbes d'une étendue aussi grande que les cercles qui sont donnés par les formules antérieures à l'équation (17), il faut renoncer à avoir des raccordemens circulaires équi-distans. Nous allons jeter un coup d'œil sur quelques-uns des partis qu'on peut prendre en pareil cas.

Digitized by Google

Lorsqu'on est gêné de la sorte, nous avons coutume de marquer, sur un des côtés du canal, des points de sujétion par lesquels nous désirons conduire une des courbes; et d'autres points, dans un rayon déterminé desquels ces mêmes courbes doivent passer. La position de ces points est la conséquence des conditions qu'on s'est imposées : comme, par exemple, de se tenir entre certaines bornes par rapport au cube des déblais et des remblais, ou bien par rapport à la quantité dont on veut encuver l'eau dans le terrain naturel, afin d'éviter les filtrations. La considération des indemnités à payer, en attaquant des propriétés bâties ou des cultures d'une grande valeur, peut encore entrer dans cette détermination.

Quelles que soient les causes qui ont motivé les points de sujétion, et l'étendue des limites figurées autour de quelques autres points; on cherche une courbe, ou une suite de courbes tangentes les unes aux autres, et tracées de façon qu'elles passent par les points de sujétion, sans sortir des limites qui sont prescrites. Il n'entre pas dans notre sujet, de parler des moyens de raccordement qui peuvent être mis en usage. Nous dirons seulement qu'il est important d'éviter les trop grandes différences dans les rayons de courbure. Car, plus ces rayons sont petits, et plus il faut donner de largeur au canal; ce qui produit à la fois un excès de dépense et une difformité. L'objet sur lequel nous désirons attirer l'attention; c'est la manière d'obtenir la seconde courbe extrême d'un canal, lorsque la première est connue.

Supposons donnée la courbe MN (pl. V, fig. 6), qui termine extérieurement la section faite dans un canal par le plan du tirant d'eau; et soit ABCD la coupe des plus grands bateaux. Si nous faisons mouvoir le rectangle ABCD, avec la condition que ses angles, C, D, s'appuient constamment sur la courbe; le côté AB, par l'intersection de chacune de ses positions avec la suivante, décrira une enveloppe PQ, à laquelle la ligne AB ne cessera jamais d'être tangente. Le bateau n'aura donc que tout justement le passage nécessaire pour se mouvoir entre MN et PQ; et conséquemment la zone MNQP est la plus étroite, parmi toutes celles qui permettent la navigation aux bâtimens de la grandeur prescrite. Si l'on se reporte à ce qui a été dit plus haut, on se convaincra qu'en opérant sur PQ comme on a

Digitized by Google

fait sur MN, on obtiendra une courbe, RS, qui sera l'autre extrémité de la section du tirant d'eau, pour que les flottes se croisent juste, en frottant l'une contre l'autre et chacune contre les parois du canal.

La construction que nous venons d'indiquer se traceroit facilement sur le papier, et avec une assez grande précision. Il ne s'agiroit pour cela que d'inscrire à la courbe MN un grand nombre de rectangles égaux à ABCD, et dont les côtés AB seroient des tangentes à la courbe PQ. En rapprochant ces tangentes convenablement, on pourroit décrire cette courbe avec une grande précision; et en opérant sur elle de la même manière, on obtiendroit la limite intérieure RS.

Le calcul rigoureux de la courbe intérieure n'offre pas plus de difficulté, analytiquement parlant, lorsqu'on a l'équation de MN. En effet, si l'on écrit l'équation du cercle tracé du point D avec le rayon connu CD; cette équation, jointe à celle de la courbe MN, donnera les coordonnées du point C en fonction des coordonnées variables du point D : d'où l'on conclura l'équation de la ligne AB parallèle à CD, et qui en est distante de la largeur d'un bateau. Cela posé, en différentiant cette équation par rapport aux coordonnées de la courbe MN, le résultat appartiendra au point d'intersection de deux positions consécutives de AB. On généralisera donc ce point, c'est-à-dire qu'on obtiendra l'équation de la courbe PQ, si l'on emploie cette équation différentielle, et l'équation de MN, à chasser de l'équation de la droite AB les coordonnées du point D. Il est entendu qu'on emploîra aussi l'équation dérivée de MN, pour faire disparoître le coefficient différentiel.

La courbe PQ étant ainsi déterminée par une équation : on opérera sur celle-ci comme on a fait sur l'équation de MN; et l'on obtiendra l'expression analytique de la courbe RS.

Il faudroit cependant avoir une attention, sans laquelle la solution pourroit n'être qu'une formule théorique, capable seulement de tromper ceux qui voudroient en faire des applications. En effet, si le rayon de courbure de MN devenoit trop petit dans quelque endroit, il se pourroit que dans leur mouvement les points A ou B dépassassent la courbe PQ, ou que les

Digitized by Google

points correspondans de l'autre bateau dépassassent RS (*a*). Dans chacun de ces cas, deux bateaux n'auroient plus la faculté de passer à la fois; puisque l'un d'eux, au moins, ne seroit pas contenu dans la zone qui lui a été donnée pour limite. Alors on se verroit contraint de renoncer aux points de sujétion qui ont motivé la courbe MN; ou bien il faudroit adopter, vers l'intérieur, une autre forme qui permettroit aux bateaux de tourner : tels seroient un grand élargissement, un pan coupé ou un bassin.

Dans le tracé approximatif fait sur le papier, la coupe du bateau ne sortiroit pas de la zone qui lui est destinée, sans qu'on s'en aperçût aussitôt. Mais en opérant par l'analyse, il faudroit calculer les courbes décrites par les points A et B, ou tout au moins par celui des deux qui est situé du côté où le rayon de courbure va en diminuant; afin de s'assurer si elles ne rencontrent point PQ. Et il faudroit ensuite en faire autant par rapport à l'autre bateau et à la courbe intérieure RS.

Supposons maintenant que la courbe intérieure, RS (pl. V, fig. 6), soit nécessitée par le terrain; et qu'on veuille construire l'autre courbe MN : toujours avec la condition de donner au canal le moins de largeur qu'il est possible.

Faisons mouvoir sur RS le rectangle EFGH, qui figure la coupe d'un bateau; et assujettissons-le à toucher continuellement la courbe par le point I, dont la distance à F est constante et représentée par ω. Les points G, H, décriront des courbes : et si l'on prend pour limite intermédiaire celle des deux qui s'écartera davantage de RS, ou, en supposant qu'elles se coupent, une courbe composée des arcs qui s'éloignent le plus; il est évident que dans sa course le bateau pourra rester enfermé entre cette ligne et RS, comme dans les problèmes précédens. En faisant mouvoir ensuite la coupe du bateau sur la limite intermédiaire, un procédé semblable

---

(*a*) Théoriquement parlant, il se pourroit encore que le point A ou le point B dépassât MN, et que la même chose arrivât aux points E, F, par rapport à PQ. Mais il n'est pas présumable que personne essaye jamais un tracé aussi étranglé. Au reste, on le reconnoîtroit en comparant avec l'équation de MN celles des courbes décrites par les points A et B, et avec l'équation de PQ celles des courbes que tracent les points E, F; puisqu'il devroit alors en résulter des intersections.

Digitized by Google

feroit obtenir la courbe extérieure, telle que deux bateaux ou deux flottes auroient la faculté de naviguer conjointement, dans le même sens ou dans des sens opposés, sans se faire obstacle l'une à l'autre.

La question résolue de cette manière ne le seroit pas avec l'économie désirable : c'est-à-dire que la courbe extérieure ne seroit pas la plus rapprochée, parmi celles qui permettent le libre passage de deux flottes. En effet, nous avons été obligé de choisir entre les courbes décrites par les points G, H, les arcs qui s'éloignent le plus de RS; ce qui prouve qu'un bateau ne toucheroit ordinairement la ligne intermédiaire que par un de ses angles, et qu'il pourroit par conséquent passer dans un espace plus étroit, quelque bien qu'on eût choisi la position du point de contact I. Un semblable excès de largeur ayant lieu, de la ligne intermédiaire à la ligne extérieure; il est démontré que cette dernière n'est pas, en général, la plus voisine de RS, parmi celles qui permettent librement le double passage.

Les problèmes dont le but est de trouver des courbes, qui jouissent au maximum ou au minimum d'une propriété quelconque, appartiennent généralement au calcul des variations. Mais ce qu'on vient de dire offre les moyens de ramener au calcul ordinaire la question qui nous occupe : du moins tant qu'on n'y introduit pas d'autres conditions que celles exprimées jusqu'ici. En effet, de ce qui précède, il résulte que les angles, G, H, doivent être tous deux à la fois sur la courbe PQ, tandis que le côté EF sera toujours tangent à RS. Car le bateau se trouvera, d'après cette disposition, tellement pressé par ses deux enveloppes, qu'il lui sera impossible de ballotter entre elles; et il ne sauroit changer de position que pour en prendre une autre où il seroit également serré. Il y a plus, quand bien même le bateau ne seroit pas engagé d'avance dans l'espace PQRS, il seroit impossible de l'y placer autrement. Ainsi, les bâtimens passeront juste et à frottement entre les deux courbes RS et PQ.

La question de minimum, que nous avons à traiter, se réduit donc, quant à présent, à ce que les deux courbes décrites par les points G et H se confondent l'une avec l'autre : ce qui est l'équivalent de la condition que nous venons d'énoncer. Pour résoudre cette question, nous n'avons que la position du point I, ou la distance $IF = \omega$, dont il nous soit loisible de

Digitized by Google

disposer. On pourroit tenter d'abord la solution en supposant ω constant, et en cherchant à déterminer sa valeur, par la condition que les points G,H, décrivent une seule ligne. Mais il suffit d'avoir quelque habitude de la géométrie des courbes, pour être convaincu que cette indétermination ne suffiroit pas à la possibilité du problème, excepté dans le cas où RS est un cercle. Nous supposerons donc que le point de tangence, I, varie par rapport aux points E,F, à mesure que le bateau change de position; ou bien que la distance $IF=\omega$ est une fonction des coordonnées du point I.

Soit AB (fig. 7, pl. V), la courbe donnée, que nous avons appelée RS dans la fig. 6; COND la coupe du bateau, tangente au point M; x et y les coordonnées de ce point, lesquelles sont liées l'une à l'autre par l'équation de AB,

$$y=fx. \qquad (1)$$

Enfin nommons toujours l et λ les dimensions du bateau.

Les triangles rectangles, MOR, NOS, donneront, à cause de tang. OMR $=\frac{dy}{dx}$, les équations suivantes :

$$MR=\frac{\omega\,dx}{\sqrt{(dy^2+dx^2)}},\ OR=\frac{\omega\,dy}{\sqrt{(dy^2+dx^2)}},$$

$$OS=\frac{\lambda\,dy}{\sqrt{(dy^2+dx^2)}},\ NS=\frac{\lambda\,dx}{\sqrt{(dy^2+dx^2)}}.$$

Il suit de là, que si x', y' représentent les coordonnées du point N, on aura

$$y'=y+\frac{\omega\,dy+\lambda\,dx}{\sqrt{(dy^2+dx^2)}}, \qquad (2)$$

$$x'=x+\frac{\omega\,dx-\lambda\,dy}{\sqrt{(dy^2+dx^2)}}. \qquad (3)$$

Les quantités x, y et $\frac{dy}{dx}$ étant assujetties à l'équation $y=fx$ et à sa différentielle; ces deux dernières et les équations (2) et (3) existent conjointement ensemble. Ainsi, en supposant ω constant, on pourroit éliminer $x, y, \frac{dy}{dx}$ de ces quatre équations; et le résultat, ne conservant plus aucune trace de la position particulière que le point M occupe sur la courbe AB, il appartien-

Digitized by Google

droit également à toutes les positions du point N, qui sont les conséquences de celles du point M : c'est-à-dire que l'équation obtenue par l'élimination seroit celle de la courbe décrite par le point N. Mais nous avons vu que ω doit varier d'un point à l'autre, en même temps que x et y : on a donc $\omega = \varphi(x,y)$; ce qui change les équations (2) et (3), du point N, en celles-ci.

$$y' = y + \frac{\varphi(x,y)\,dy + \lambda\,dx)}{\sqrt{(dy^2 + dx^2)}}, \qquad (4)$$

$$x' = x + \frac{\varphi(x,y)\,dx - \lambda\,dy}{\sqrt{(dy^2 + dx^2)}}. \qquad (5)$$

Desquelles on tireroit encore l'équation de la ligne intermédiaire, si la forme de la fonction φ étoit connue, en éliminant $x, y, \frac{dy}{dx}$, à l'aide de l'équation (1) et de sa dérivée.

Il est évident que l'équation de la courbe décrite par le point D s'obtiendroit en changeant MO en $-$MC, ou $\varphi(x,y)$ en $\varphi(x,y) - l$. Ainsi, en désignant par x'_1, y'_1, les coordonnées de cette autre courbe ; son équation s'obtiendra par l'élimination de x, y et $\frac{dy}{dx}$, entre l'équation (1), sa dérivée et les deux suivantes :

$$y'_1 = y + \frac{[\varphi(x,y) - l]\,dy + \lambda\,dx}{\sqrt{(dy^2 + dx^2)}}, \qquad (6)$$

$$x'_1 = x + \frac{[\varphi(x,y) - l]\,dx - \lambda\,dy}{\sqrt{(dy^2 + dx^2)}}; \qquad (7)$$

qui donnent les coordonnées du point variable D, et qui exigent, comme les précédentes, qu'on connoisse la forme de la fonction φ avant d'exécuter aucun calcul.

Maintenant, il ne reste plus à exprimer qu'une seule des conditions que nous nous sommes imposées. C'est que la courbe décrite par le point D doit se confondre avec celle décrite par le point N : en d'autres termes, que si l'élimination étoit effectuée entre les équations (1), (4), (5), et si elle l'étoit entre les équations (1), (6), (7) (*a*), les deux équations obtenues seroient

(*a*) Pour abréger, nous ne parlons plus de l'équation dérivée de l'équation (1), laquelle est

Digitized by Google

identiques ; en sorte qu'on pourroit écrire x' et y' à la place de x'_1 et y'_1 dans le dernier résultat, lequel, ainsi que le premier, ne conserveroit plus aucune trace des valeurs particulières de x et y.

Il ne faudroit cependant pas conclure de là, qu'on pourroit immédiatement mettre x', y', au lieu de x'_1, y'_1, dans les équations (6) et (7), et les combiner avec (1), (4) et (5) pour chasser x, y, et $\varphi(x, y)$. On obtiendroit par ce procédé un résultat absurde, ce qui tient à ce qu'après ce changement, les équations (6) et (7) ne peuvent subsister avec (4) et (5), tant qu'elles gardent la tracede leur origine.

En effet, puisque les équations (6) et (7) appartiennent aussi bien que (4) et (5) à tous les points de la courbe cherchée, rien n'empêche d'y mettre x' et y' à la place de x'_1 et y'_1. Mais, dans ces formules, x et y représentent les coordonnées du point de contact du rectangle mobile, en supposant que cette figure devance la courbe cherchée. Donc, si le point x'_1, y'_1 devient x', y', c'est-à-dire si D passe en N, les quantités représentées par x et y dans le second membre ne seront plus, comme dans les équations (4) et (5), les coordonnées du point M, mais bien celles x_1 et y_1, du nouveau point de contact M'. Ainsi, dans la supposition où les équations (4), (5), (6) et (7) ont lieu ensemble, il faut écrire les deux dernières ainsi qu'il suit :

$$y' = y_1 + \frac{[\varphi(x_1, y_1) - l]\,dy_1 + \lambda\,dx_1}{\sqrt{(dy_1^2 + dx_1^2)}}, \qquad (8)$$

$$x' = x_1 + \frac{[\varphi(x_1, y_1) - l]\,dx_1 - \lambda\,dy_1}{\sqrt{(dy_1^2 + dx_1^2)}}. \qquad (9)$$

Dans lesquelles x_1 et y_1, sont liés par l'équation de la courbe MN,

$$y_1 = fx_1. \qquad (10)$$

Sous cette forme, on voit l'impossibilité de l'élimination. Puisqu'on auroit six équations coexistantes : savoir, (1), (4), (5), (8), (9) et 10; et qu'il fau-

---

nécessaire pour faire disparoître le coefficient différentiel $\frac{dy}{dx}$. Cette dérivée est contenue implicitement dans l'équation primitive ; et il est clair qu'on est obligé de faire usage de toutes deux, quand il y a des différentielles dans les équations avec lesquelles il est licite de combiner l'équation (1).

Digitized by Google

droit en chasser six quantités variables $x, y, \varphi(x,y), x_1, y_1$ et $\varphi(x_1, y_1)$ (a). Il est vrai qu'il y a une septième condition, qui est la constance de forme de la fonction φ. Mais cette constance n'est point une condition déterminée : c'est une condition prohibitive de certaines figures, et restrictive à certaines autres; lesquelles composent une grande famille de courbes, dont tous les individus sont liés ensemble par l'existence d'une propriété commune.

Les personnes les plus étrangères au calcul peuvent s'assurer mécaniquement de cette indétermination, qui permet de résoudre le problème par une infinité de courbes. Elles n'ont qu'à placer le rectangle COND, de façon que CO, ou seulement son prolongement, soit tangent à la courbe AB, en tel point qu'elles voudront; et à tracer un arc de courbe quelconque qui joigne les points N et D. On fera ensuite mouvoir le point D sur cette courbe arbitraire, de telle sorte que CO, ou son prolongement, soit continuellement tangent à AB; et le point D étant parvenu en N, on continuera à le faire marcher sur la courbe que le point N a commencé, et qu'il continue à tracer en avant. On voit que par cette construction on aura au delà de N, une branche de courbe qui satisfera à la question. On en obtiendroit une seconde, de l'autre côté de D; si l'on faisoit sortir en sens contraire COND du canal formé par AB et par la courbe arbitraire tracée entre N et D, en assujettissant le rectangle à toucher la courbe extérieure par le point N, et la courbe intérieure par le côté CO.

Il se présente ici une circonstance fort remarquable : bien que les deux branches composent, avec la portion de courbe arbitraire qui s'appuie sur DN, une même solution de la question, et que sous ce rapport elles doivent être considérées toutes les trois comme ne faisant qu'une seule courbe; néanmoins, l'équation particulière de l'arc compris entre N et D ne convient pas ordinairement aux deux branches : tandis que les points de la courbe arbitraire qui sont en dehors de cet arc ne satisfont pas davantage aux équations de ces deux branches, et ne font point partie de la solution pré-

(a) On ne réussiroit pas mieux en employant les équations (1), (4), (5), (6) et (7). Car on auroit cinq variables $x, y, \varphi(x,y), x'_1, y'_1$, à chasser de cinq équations, ce qui laisseroit la même indétermination dans le problème.

Digitized by Google

citée. Au contraire, une seconde partie de la courbe arbitraire peut se lier avec deux autres branches, réelles ou imaginaires, pour former une deuxième solution analytique; laquelle, ainsi que la première, a la propriété que l'arc de la courbe donnée qui en fait partie, et les deux branches qui la complettent, ne satisfont généralement pas à la même équation. On apercevra de suite l'analogie de ce fait, avec celui des solutions particulières des équations différentielles.

Dans la multitude des solutions que nous offre l'analyse, il faut retrancher toutes celles où la ligne CO est prolongée pour rencontrer la courbe intérieure; parce que les bateaux auroient du jeu. Il faut aussi retrancher toutes les solutions où il se trouveroit que dans l'étendue nécessaire à la navigation, la courbure de quelque partie de la ligne extérieure tourneroit vers AB une convexité assez grande, pour que le bateau fût obligé de franchir sa limite.

Ces retranchemens n'empêchent pas qu'il ne reste une foule de solutions; dont quelques-unes ont une forme extrêmement bizarre, même lorsque AB est un cercle. Les courbes qu'elles donnent, s'il y en avoit un grand nombre de calculées d'avance, seroient de la plus grande utilité, toutes les fois qu'on auroit à tracer un canal dans des gorges resserrées, et qu'on voudroit ménager les déblais ou bien s'assujettir à une profondeur d'encuvement à peu près constante.

On doit encore faire remarquer que, dans les solutions où le côté CO n'a pas besoin d'être prolongé, et probablement dans toutes les autres, si la courbe arbitraire s'éloigne beaucoup de AB dans quelques-uns de ses points, il se trouve ordinairement après cette portion arbitraire un endroit très-resserré, puis un renflement, ensuite une partie étranglée, à laquelle succède un autre renflement, et ainsi de suite. Mais dans toutes les portions de ces courbes qui peuvent servir au problème qui nous occupe, il n'y a, pour le canal formé par AB et par la courbe extérieure, qu'une seule manière de faire mouvoir le bateau COND; et il est impossible de placer ce bateau dans le canal, sans qu'il soit tangent à la courbe intérieure, et sans qu'il ait deux de ses angles à la courbe exterieure. Ainsi il ne peut jamais ballotter, entre ses deux enveloppes, ce qui satisfait aux conditions qu'on s'est imposées. Néanmoins,

Digitized by Google

parmi ce grand nombre de courbes, entre AB et chacune desquelles le bateau seroit constamment pressé, il doit s'en trouver qui présentent plus d'avantages que les autres. Dans le cas que nous avons supposé plus haut, d'une gorge resserrée où l'on seroit forcé de tourner brusquement; ce seroit en général la courbe qui s'approcheroit davantage du terrain dans lequel la vallée est le plus déprimée, et mieux encore celle qui donneroit le moindre déblai ou bien un encuvement à peu près égal à celui qu'on tend à obtenir. Mais dans les terrains peu accidentés, une des meilleures conditions à introduire seroit que la surface comprise entre les deux courbes, et limitée par les normales extrêmes, fût un minimum.

Le problème général, de trouver la seconde limite d'un canal lorsqu'on en connoît déjà une, a été suffisamment analysé, pour qu'on puisse assurer qu'il entraîneroit dans des calculs fort longs; auxquels n'ont point le temps de se livrer ceux qui sont chargés de projeter un grand travail. Il pourroit donc être utile de leur présenter des formules, dans lesquelles ils n'auroient à faire que des substitutions. Si nos recherches sont accueillies par les ingénieurs qui sont dans le cas d'en faire des applications, nous essayerons d'y donner plus de développement, et d'établir des formules relatives aux courbes de raccordement dont on fait le plus d'usage. En attendant, nous allons offrir une méthode simple d'approcher de la solution. Elle est à la portée du lecteur le moins instruit; mais les personnes qui sont fort au-dessus de ces petites considérations, désirent quelquefois les trouver écrites, soit pour s'épargner une heure de travail, soit pour s'éviter ensuite la peine de les expliquer aux employés qui doivent les mettre en pratique. Pour plus de facilité, nous supposerons que la courbe connue est circulaire, ou composée de parties circulaires, ce qui est le cas le plus habituel.

ABCD, EBCF (pl. V, fig. 8), sont deux alignemens droits, MN est le cercle qui les raccorde intérieurement, et O le centre de ce cercle. Si la formule (17) donnoit pour la courbe extérieure un cercle qui n'atteindroit point les lignes DC, CF, on lui substitueroit le cercle tangent à ces deux alignemens, et dont le centre est en O : car il seroit absurde de donner moins de largeur à un canal, dans les parties courbes que dans les parties droites. Supposons donc, au contraire, que le cercle obtenu de la formule (17)

Digitized by Google

coupe les alignemens DC, CF. Soit RS ce cercle, et soit PQ ce que nous avons nommé plus haut le cercle intermédiaire, qui sépare le chemin des deux flottes.

Plaçons deux bateaux, GHIK, LZTU, de manière qu'ils ayent leurs centres sur le dernier rayon OM de la courbe intérieure. Le cercle extérieur étant prolongé jusqu'en U; il résulte des données mêmes, que deux bateaux ou deux flottes pourront se croiser ou se doubler sur la droite des points M et U, sans se faire mutuellement obstacle : il reste donc seulement à établir la même chose du côté opposé.

Si les deux bateaux, GHIK, LZTU, arrivoient du côté NQS, et qu'ils fussent parvenus dans la position où ils sont représentés; le premier continueroit sa route entre AGH et *ab*KI, pendant que le second se serreroit sur lui et prendroit le chemin entre *ab*KI et DVC; sans que l'un se trouvât gêné par l'autre. Ainsi, quel que soit le raccordement de l'arc UTS avec DV, les bateaux pourront se doubler en sortant, pourvu que LZTU attende un instant, dans le cas où GHIK auroit l'angle K sur un des points intermédiaires de l'arc K*c*I. La même chose auroit évidemment lieu, si les deux bateaux entroient ensemble dans la courbe.

La difficulté ne seroit pas plus grande, dans le cas du croisement des bateaux : il suffiroit que pour se ranger le long de KI, le bateau LZTU attendit, si cela étoit nécessaire en entrant ou en sortant, que l'angle K de l'autre bateau ne fût pas entre K et I.

Le temps qu'un bateau perdroit quelquefois à attendre l'autre seroit assurément bien court, et il se trouveroit encore diminué, dans la pratique, par l'aisance qu'on ne peut s'empêcher de donner, tant dans l'alignement droit que dans la courbe. Néanmoins, pour une navigation active, il est nécessaire de faire disparoître ce défaut, en employant un raccordement simple.

Dans la figure 8, nous avons raccordé la partie droite avec la partie courbe, par un arc de cercle UV, mené par le point U, et tangent à la droite DVC ainsi qu'au cercle RUS ; voyons quelles en seront les conséquences. Il est évident que le raccordement ne fait que donner plus de facilité au bateau LZTU : puisqu'en sortant, par exemple, celui-ci pourroit

Digitized by Google

continuer son mouvement, en appuyant toujours ses deux angles extérieurs sur l'arc RUS; jusqu'au moment où l'angle L, qui décrit un cercle, $Zf\mathrm{L}b$, concentrique à tous les autres, se trouveroit rendu au point b, dans lequel ce dernier cercle coupe l'axe $ab\mathrm{K}$ de la partie droite. D'où il suit que la forme du raccordement seroit parfaitement indifférente, excepté pour la vue; si le cercle décrit par le rayon OL pouvoit couper l'axe $ab\mathrm{K}$, dans un point où l'on eût $b\mathrm{K}$ égal à la longueur ou plus grand que la longueur d'un bateau. Car une fois rendu au point b, le bateau pourroit tourner sur son angle, afin de se mettre dans le chemin $ab\mathrm{VD}$ qu'il doit suivre ensuite; et dans tout son mouvement, il n'auroit point dépassé la limite $ab\mathrm{K}c\mathrm{I}$ des chemins des deux flottes. Le point b et le point K ne sont jamais éloignés l'un de l'autre de la longueur d'un bateau : leur distance, qui est indépendante de la grandeur des rayons, est seulement un peu plus du cinquième de cette longueur (*a*). Cependant, le bateau ne s'arrêtera pas au point b; car le petit raccordement, UV, en s'éloignant de la courbe RUS, laisse un vide entre lui-même et la position du bateau arrivé en b. Ce vide est encore considérablement augmenté, dans la pratique, par l'aisance qu'on est obligé de donner aux bâti-

---

(*a*) Conservons la même notation que dans les problèmes précédens : le triangle rectangle OcL nous donnera

$$\overline{\mathrm{O}f}^2 = \overline{\mathrm{OL}}^2 = \overline{\mathrm{O}c}^2 + \overline{c\mathrm{L}}^2 = \rho^2 + \tfrac{1}{4}l^2.$$

Mais le triangle rectangle OeK donne aussi

$$\overline{\mathrm{O}e}^2 = \overline{\mathrm{OK}}^2 - \overline{\mathrm{K}e}^2 = \rho^2 - \tfrac{1}{4}l^2;$$

conséquemment,

$$ef = \mathrm{O}f - \mathrm{O}e = \sqrt{\rho^2 + \tfrac{1}{4}l^2} - \sqrt{\rho^2 - \tfrac{1}{4}l^2}.$$

Or, le cercle dont le rayon est Of donne pour valeur de son ordonnée, be,

$$\overline{be}^2 = (2\,\mathrm{O}f - ef)\,ef;$$

substituant les valeurs de Of et ef, que nous venons d'obtenir, on trouvera

$$\overline{be}^2 = \left(\sqrt{\rho^2 + \tfrac{1}{4}l^2} + \sqrt{\rho^2 - \tfrac{1}{4}l^2}\right)\left(\sqrt{\rho^2 + \tfrac{1}{4}l^2} - \sqrt{\rho^2 - \tfrac{1}{4}l^2}\right) = \tfrac{1}{2}l^2.$$

on tire de là

$$b\mathrm{K} = be - \mathrm{K}e = l\sqrt{\tfrac{1}{2}} - \tfrac{1}{2}l = l\left(\sqrt{\tfrac{1}{2}} - \tfrac{1}{2}\right).$$

Expression dont la valeur approchée est $l \times 0{,}21$.

Digitized by Google

mens, tant dans la partie droite que dans la partie curviligne (*a*) ; puisque l'excédant de la largeur du canal, sur celle qui seroit nécessaire au croisement des bateaux, vient en rélargissement de la zone extérieure *ab*K*c*ITUVD : l'autre zone, *ab*K*c*IMA, étant suffisante au passage de la flotte rangée du côté intérieur. Cela posé, l'espace assez grand, qui se trouve entre la courbe UV et le bateau, permet de faire tourner celui-ci, de manière qu'il s'appuie à la fois sur cette courbe et sur K*c*I ; ce qui éloigne beaucoup le point *b* de *ab*K, et donne au bateau la faculté de se mouvoir en ligne droite, dans la direction où il se trouve, jusqu'à ce que l'angle L vienne de nouveau frapper sur *ab*K. Arrivé à cette position, si la distance de l'angle L au point K est au moins égale à la longueur du bateau ; celui-ci pourra faire la manœuvre indiquée plus haut, et prendre sa route dans la partie droite, sans avoir enfreint la limite *ab*K*c*I. Il suffira même, en général, que dans la position où le bateau rencontre *ab*K, l'angle Z ait commencé à se détacher de la courbe K*c*I ; parce que le rectangle LZTU pourra tourner, en se tenant toujours tangent à UV d'un côté, et en appuyant de l'autre côté l'angle Z sur K*c*I.

De ce qui précède, on doit conclure que la question de savoir si le raccordement UV permettra à une flotte de tourner dans la zone *ab*K*c*ITUVD, se réduit à mener deux lignes parallèles, distantes entre elles de la largeur d'un bateau, de façon qu'elles soient tangentes, l'une à l'arc de cercle UV, l'autre à l'arc K*c*I, et à déterminer le point où la dernière coupe la ligne *ab*K. C'est un problème bien simple ; qu'on résoudra en décrivant, du centre d'un des deux arcs, une circonférence qui ait pour rayon la somme des rayons de UV et de K*c*I, augmentée de la largeur d'un des bateaux : la tangente menée à cette circonférence, par le centre de l'autre arc, sera parallèle aux lignes cherchées. On meneroit donc, parallèlement à cette ligne, une tangente au cercle PQ, et l'on chercheroit son intersection avec *ab*K.

Si la courbure de l'arc PQ étoit tellement grande, que le point d'inter-

---

(*a*) Voyez à ce sujet ce que nous avons dit page 117 et page 119.

Digitized by Google

section fût trop près de K pour permettre à un bateau de tourner sans entamer le chemin *ab*K*c*IMA ; il faudroit substituer au raccordement UV, un arc de cercle qui seroit toujours tangent à CD et à RUTS, mais qui seroit déterminé de telle sorte, qu'en prolongeant le côté intérieur, LZ, d'un bateau tangent au nouvel arc et à K*c*I, cette ligne rencontrât *ab*K à une longueur de bateau du point K ; ou en un point tel, que le bateau commençât à se détacher de K*c*I, lorsqu'il arriveroit à *c*e point. Si cet essai reçoit quelque encouragement, nous pourrons revenir plus tard sur la solution rigoureuse de ces deux problèmes. Mais il est bien facile d'en approcher par le tâtonnement, en diminuant successivement la distance du point de tangence au point *d;* et l'épreuve que nous venons d'indiquer peut se faire en si peu de temps, qu'on ne tarderoit pas à avoir une approximation d'autant plus suffisante, qu'ici, comme ailleurs, il faut laisser un peu de jeu pour la facilité du passage. Nous pouvons donc nous contenter, pour le moment, de prouver que la solution est toujours possible.

Cette possibilité existe toujours, même en supposant, comme dans la figure 8, que les parties droites et les parties courbes ne donnent que tout justement passage à deux bateaux. Car, si l'on prenoit *d* pour le point de contact, le cercle de raccordement deviendroit une ligne droite parallèle à DVC, et conséquemment le bateau auroit bien plus de place qu'il ne lui en faut pour se mouvoir. On peut donc, à plus forte raison, déterminer un point de contact assez voisin de *d*, pour que le bateau ait une place suffisante à sa manœuvre.

Le parti que nous venons d'indiquer, soit qu'on emploie les deux petits raccordemens VU, XY, ou deux autres d'un plus grand développement, paroît en général le plus avantageux et le moins irrégulier. Cependant on ne peut se dissimuler que la ligne DVU*d*TXYF n'est pas d'un effet pur et agréable. Aussi, fera-t-on bien de la dissimuler, toutes les fois que cela sera possible ; en conservant à l'arête supérieure sa forme concentrique, et en inclinant les génératrices des talus, de façon à obtenir la courbe VU*d*TXY au niveau du plan du tirant d'eau. Une circonstance facilite cette disposition : c'est que, le plus souvent, la courbe VU*d*TXY est située vers le côté du déblai, où l'on peut sans inconvénient donner moins de pente au

Digitized by Google

talus. D'ailleurs, ce changement d'inclinaison se faisant graduellement et dans une partie courbe, l'effet en est peu sensible.

Nous avons considéré le raccordement des limites droites intérieures, AB, BE, comme pouvant être fait par un seul arc de cercle. Si plusieurs arcs étoient nécessaires, à chacun d'eux on traceroit un cercle concentrique, qui permettroit avec frottement le passage d'un bateau ; et l'on raccorderoit entre eux les nouveaux cercles, par d'autres arcs qui y seroient tangens, et dont la courbure seroit tournée du même côté. On formeroit ainsi une courbe à plusieurs centres, laquelle seroit propre à servir de limite au mouvement d'un bateau ou d'une flotte qui navigueroit en suivant le bord intérieur du canal. On prendroit cette ligne pour courbe intermédiaire, et en y appliquant le même procédé, on détermineroit la courbe extérieure; laquelle se raccorderoit avec les alignemens droits, par la méthode qui vient d'être exposée.

La condition d'être tangent à deux cercles n'en détermine pas un troisième. On seroit donc maître de disposer d'une indéterminée pour donner une forme plus agréable au tracé ; et par exemple, on pourroit s'assujettir à ce que les rayons des cercles intermédiaires fussent moyens arithmétiques, ou géométriques, entre les rayons des cercles qu'ils raccorderoient. Du reste, la figure 9 (planche V) montre que toute espèce de raccordement entre les cercles, à moins qu'il ne tourne sa convexité vers ABCD ou qu'il ne soit intérieur à la figure, est propre à laisser aux bateaux un libre passage. Car, un bâtiment, I ou K, peut évidemment se mouvoir entre la courbe à plusieurs centres ABCD, et l'enveloppe formée des arcs ELF, FMG, GH : ainsi les raccordemens de ces arcs n'ont d'autre but que de donner plus de régularité à la courbe, tout en facilitant encore davantage le croisement des bateaux.

Puisque la courbe à jarrets ELFMGH est propre au passage d'une flotte ; on pourroit, sans s'occuper préalablement des raccordemens des arcs qui la composent, chercher de suite la courbe extérieure, composée d'arcs de cercle, entre laquelle et ELFMGH un bateau ou une autre flotte peut passer à frottement. On raccorderoit après cela les arcs de cette courbe comme il vient d'être expliqué, c'est-à-dire par d'autres arcs qui seroient extérieurs au tracé et

Digitized by Google

desquels la courbure seroit dans le même sens que la courbure des premiers. Le problème se trouveroit plus promptement résolu, et la solution donneroit au canal une section un peu moindre que celle qu'on auroit obtenue d'abord.

Nous allons, maintenant, nous occuper du cas où la courbe extérieure est donnée par le terrain. Soit ABDC (fig. 10, pl. V) une partie droite, à laquelle nous ne supposons toujours que le double de la largeur d'un bateau, et BMN le cercle par lequel AB est raccordé avec un autre alignement droit. Soient de plus PQ, RS, le cercle intermédiaire et le cercle extérieur, calculés à l'aide de la formule (18), et desquels il faut raccorder le dernier avec CD.

Un bâtiment qui tourneroit entre BMN et PQ étant parvenu dans la position BEFG, son angle B commence à s'appuyer sur la droite AB. Dès-lors, le côté FG, au lieu de frotter sur PH, commence à décrire une autre enveloppe qui s'approche beaucoup plus de la ligne milieu LIT; à laquelle on prouveroit facilement qu'elle est tangente en un point I, déterminé par la condition que IT est la longueur d'un bateau (*a*). De même, le bateau renfermé entre PQ et RS étant arrivé à la position UVXH, où son angle touche le premier point H de la nouvelle enveloppe, cet angle continue à se mouvoir sur celle-ci. Il en résulte que le côté UV trace une autre enveloppe qui se raccorde tangentiellement à RS au point Y, et tangentiellement à CD en un point C, tel que CZ est égal à ZD ou à la longueur d'un bateau (*b*).

Il existe donc une courbe de raccordement, tangente au cercle et à la ligne droite dans les points Y et C, laquelle auroit la propriété de donner tout justement passage aux bateaux. A défaut de l'équation de cette courbe, qui n'offre d'autre difficulté que des calculs excessivement longs; on peut

---

(*a*) La plupart des lecteurs trouveront probablement évidente la proposition qu'on vient d'énoncer; savoir que I sera le point de tangence entre la nouvelle enveloppe et la droite LIT. Néanmoins, les personnes qui n'ont jamais été familières avec la géométrie des courbes seront peut-être bien aises d'en trouver ici une démonstration élémentaire. Nous les renvoyons à la note qui termine ce volume.

(*b*) Cette dernière assertion est prouvée par la démonstration à laquelle on renvoie dans la note précédente, et laquelle est indépendante de la nature de la courbe qui dirige le mouvement du bateau; pourvu que cette courbe soit tangente à la ligne droite qui se raccorde avec elle.

Digitized by Google

s'assurer par des constructions graphiques ainsi que par le raisonnement, qu'elle s'éloigne bien peu de la ligne droite entre les points C et Z : de sorte qu'un arc de cercle assujetti à toucher RS, et à être tangent à CD au point Z, se trouvera livrer un passage trop large du côté de la courbe, et un peu trop étroit du côté de Z. Mais il faut se rappeler qu'on donne toujours, tant aux parties droites qu'aux parties courbes d'un canal, plus de largeur qu'il n'en faut pour le passage de deux bateaux : ainsi, dans la pratique, les lignes CD, RS se trouvent plus rapprochées du point O que nous ne l'avons supposé; et c'est d'une quantité qui n'est pas ordinairement moindre que $0^{m}, 70$ pour la ligne CD (*a*). La courbe Z*a* se trouvant par là repoussée de la même manière, elle livrera le plus souvent un passage suffisant entre elle et l'autre enveloppe.

Nous conseillons donc à ceux qui ne voudront pas se livrer à de grands calculs, de raccorder les lignes CD, RS, par un arc de cercle qui soit tangent à ces lignes, et qui passe par le point Z, distant de OB de la longueur d'un bateau. Mais comme ce procédé n'est point le résultat d'un calcul exact, toutes les fois que le rayon OR sera petit, on fera bien de vérifier graphiquement si deux flottes peuvent se croiser.

On pourroit craindre que le point de contact *a* ne se trouvât au delà de Y, ce qui rendroit impossible le raccordement proposé, en rétrécissant le canal entre Y et S. Mais cela n'arrivera pas, ni même que les points *a* et Y se confondent : car, en prolongeant les lignes ZD, YU, il est facile de faire voir que la distance du point d'intersection au point Z, est déjà plus grande que celle du même point à Y.

Le raccordement que nous venons de proposer ne présente pas, en général, un aspect trop désagréable, dans une circonstance où il faut nécessairement s'éloigner de la régularité. Il n'en faut pas juger par la figure 10, construite pour la supposition d'un tournant très-brusque, puisque le rayon OR et la longueur du bateau y sont entre eux dans le rapport de 7 à 4. Mais, quand le rayon OR est un peu grand, il faut une vue exercée, pour

---

(*a*) Dans ce minimum de $0^{m}, 70$, on comprend l'évasement des talus depuis le fond de cuve jusqu'au plan du tirant d'eau.

Digitized by Google

qu'après l'exécution on s'aperçoive du défaut de concentricité des courbes; principalement si l'on a eu soin d'en sauver une partie à la hauteur de l'arête supérieure, en faisant augmenter progressivement l'inclinaison de la génératrice du talus, ainsi qu'il a été dit précédemment.

Nous croyons inutile de traiter le cas où AB seroit raccordé avec un autre alignement par une courbe à plusieurs centres. Ce qu'on a déjà vu, indique suffisamment le parti qu'on auroit à prendre.

Note sur la démonstration de la proposition énoncée à la page 141.

Soit ABCD (figure 11, planche V) le rectangle qui représente la coupe d'un bateau, et qui, après avoir glissé sur la ligne droite X'AB, continue son mouvement en appuyant l'angle A sur cette droite, et l'angle B sur une courbe quelconque, BM, tangente à X'AB au point B : d'où il résulte que le côté CD décrit une enveloppe, par les intersections de ses positions successives.

Le rectangle étant parvenu dans la position EFGH, nous allons d'abord chercher le point d'intersection des deux positions particulières CD, FG, du côté qui trace l'enveloppe; et pour cela, après avoir mené les lignes HI, FK, perpendiculaires à AX, nous poserons $AE=a$, $AB=EH=l$, $AD=EF=\lambda$, $EI=b$, $IH=c$: d'où l'on tire $b^2+c^2=l^2$.

Les triangles semblables KEF, EIH, donnent les deux proportions,

$$EH:EI::EF:FK,$$
$$EH:HI::EF:KE:$$

d'ou l'on tire,

$$FK=\frac{EI.EF}{EH}=\frac{b\lambda}{l},\quad KE=\frac{HI.EF}{EH}=\frac{c\lambda}{l};$$

et de la dernière équation on conclut,

$$AK=AE-KE=a-\frac{c\lambda}{l}.$$

Les coordonnées du point F étant AK et $-FK$, et la ligne FG étant paral-

Digitized by Google

lèle à EH qui forme avec l'axe des x un angle dont la tangente est $-\frac{c}{b}$; l'équation de la ligne FG sera

$$y+\frac{b\lambda}{l}=-\frac{c}{b}\left(x-a+\frac{c\lambda}{l}\right).$$

Et comme l'équation de CD est

$$y=-\lambda,$$

il en résulte, pour le point où se coupent les lignes CD, FG,

$$x-a+\frac{c\lambda}{l}=-\frac{b\lambda}{c}\frac{b-l}{l};$$

ou en transposant et réduisant

$$x=a-\frac{\lambda}{l}\left(c+\frac{b\overline{b-l}}{c}\right)=a-\frac{\lambda}{l}\frac{c^2+b^2-bl}{c}.$$

L'équation $b^2+c^2=l^2$ change la précédente en

$$x=a-\frac{\lambda(l-b)}{c};$$

qui devient, en multipliant la fraction haut et bas par $l+b$,

$$x=a-\frac{\lambda(l^2-b^2)}{c(l+b)};$$

et à cause de $l^2-b^2=c^2$,

$$x=a-\frac{c\lambda}{l+b}.$$

Le second terme de cette expression, $\frac{c\lambda}{l+b}$, ne pouvant dans la pratique changer de signe; cela nous apprend que dans une situation quelconque du rectangle qui figure la coupe d'un bateau, la nouvelle position du côté FG rencontre la première position DC, en un point qui est plus rapproché de l'axe YY' que n'est l'angle E.

Nous avons dit plus haut que le côté DC, ou FG, après avoir parcouru la droite LD, décrit une enveloppe déterminée par les intersections de ses

Digitized by Google

positions consécutives. Si l'on veut avoir le premier point de cette enveloppe, dans lequel elle est tangente à LD, il faut chercher l'intersection du côté CD, avec la position qui en est infiniment voisine, et pour laquelle on a conséquemment $a=0$, $b=l$, $c=0$; ce qui donne,

$$x=0.$$

Résultat qui appartient au point D, et qui nous apprend que ce point est celui du contact de la droite LD avec l'enveloppe.

La figure 10 (planche V) n'étant qu'un cas particulier du problème général, on en conclura que si un bateau s'appuie sur la droite AB et sur le cercle BMN, l'enveloppe tracée par le côté opposé à ABMN doit toucher la ligne LIT au point I.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

AVERTISSEMENT..... v

Mémoire sur un nouveau moyen d'emplir et de vider les écluses..... 1

Note première. — Sur le temps nécessaire à la manœuvre des nouveaux siphons, et sur l'écoulement des liquides par des siphons en partie pleins d'air..... 51

Note deuxième. — Sur des phénomènes de pression négative qui peuvent avoir des applications utiles..... 66

Note troisième. — Sur d'autres phénomènes relatifs à la pression négative, sur une objection qu'on peut opposer au système des écluses à siphons renversés et sur la manière d'employer la pression négative, soit pour élever l'eau d'une source au-dessus de son niveau, soit pour produire tout autre effet..... 74

Note quatrième. — Sur la loi à laquelle la pression négative est assujettie; sur quelques expériences qui tendent à prouver l'existence de cette pression, indépendamment des corps étrangers qu'on a introduits dans les tuyaux pour la constater; et sur des perfectionnemens qu'on peut apporter aux machines précédemment décrites..... 84

Note cinquième. — Sur une nouvelle explication des effets du bélier hydraulique, et sur les moyens qu'on pourroit employer pour augmenter le produit de cette machine..... 98

Explication de la première planche relative aux expériences contenues dans les notes..... 104

Description d'un autre procédé pour emplir et vider les sas d'écluse, lequel réunit presque tous les avantages du précédent, excepté ceux de n'exiger aucune espèce de fermeture, et de ne pouvoir donner lieu à aucune filtration.. 107

Considérations sur le développement et la largeur à donner aux parties courbes des canaux..... 113

Digitized by Google

Pages.

Canaux pour une seule largeur de bateau, avec raccordemens concentriques et circulaires 118

Canaux pour le passage de deux bateaux, avec raccordemens concentriques et circulaires 119

Considérations sur les raccordemens auxquels on ne peut employer des courbes circulaires équi-distantes 125

Note sur la démonstration de la proposition énoncée à la page 141 143

Digitized by Google

Digitized by Google

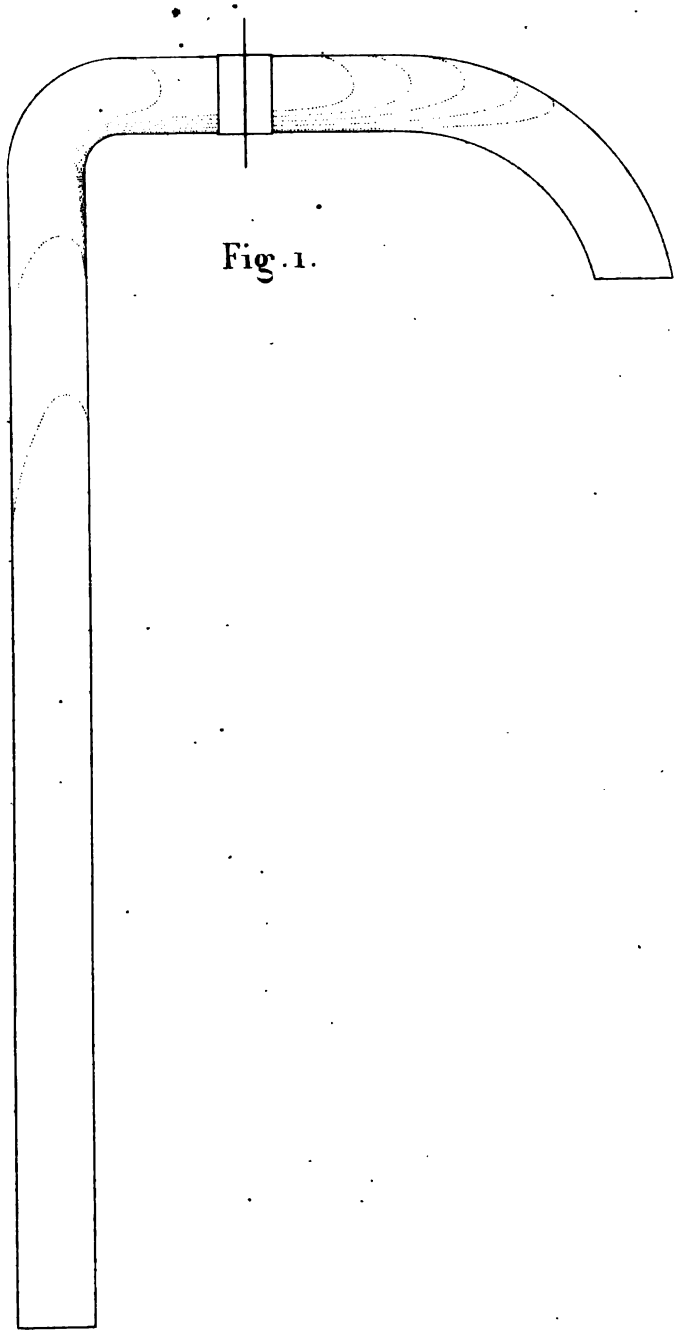
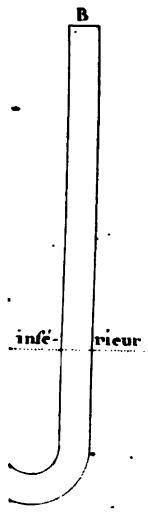


Fig. 1.



Digitized by Google

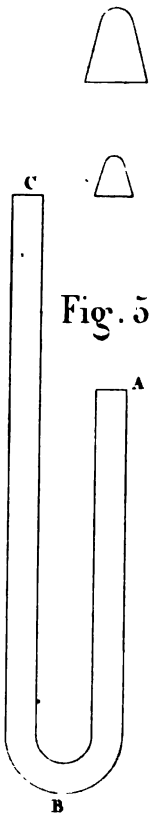


Fig. 5.

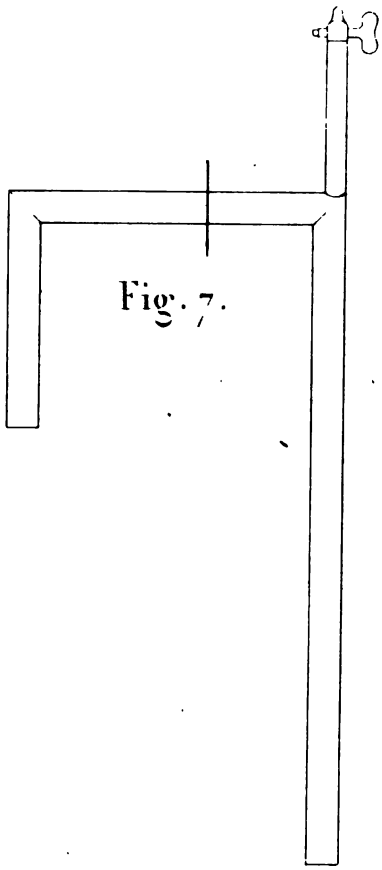
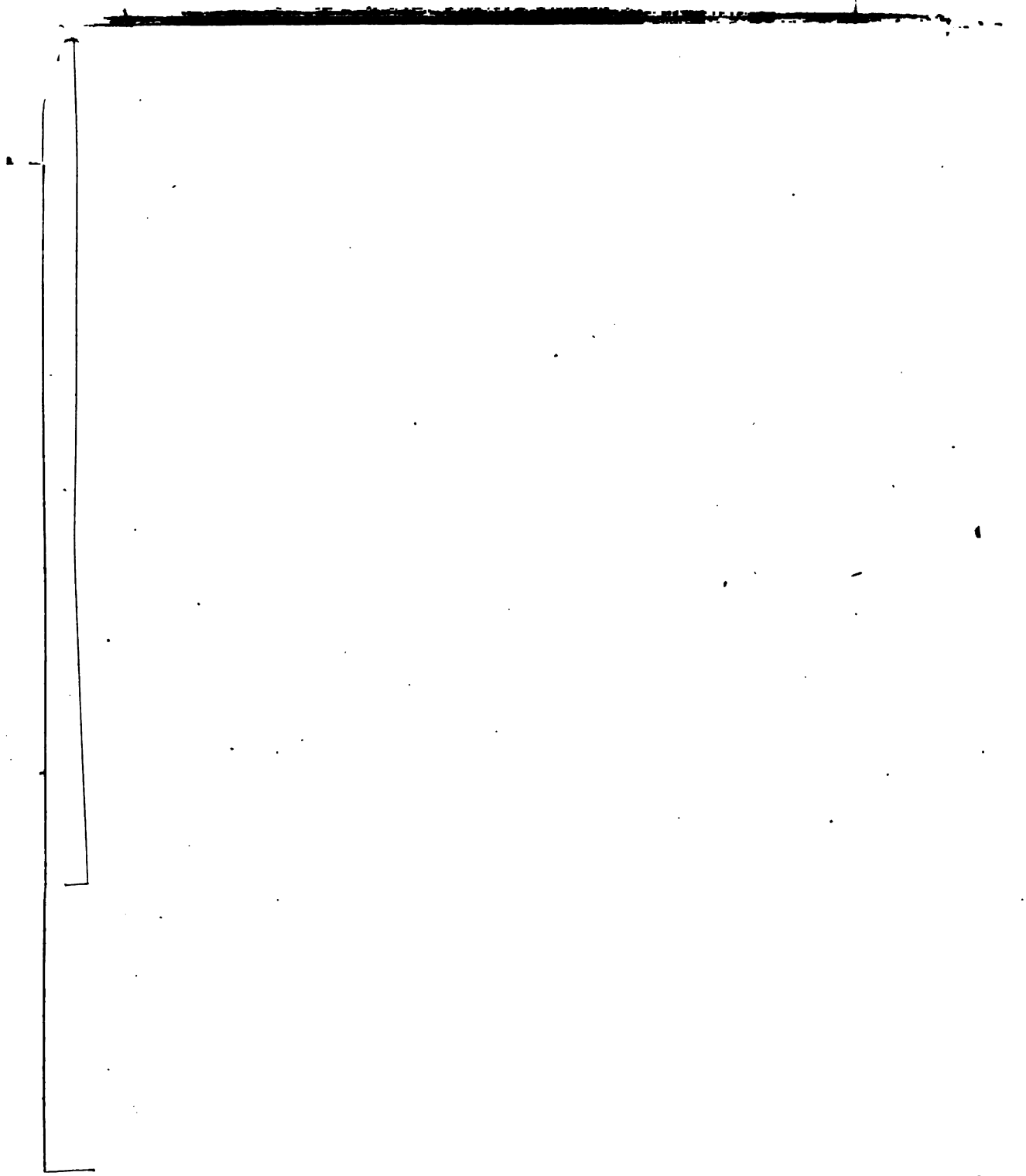


Fig. 7.

Gravé par Adam.

Digitized by Google

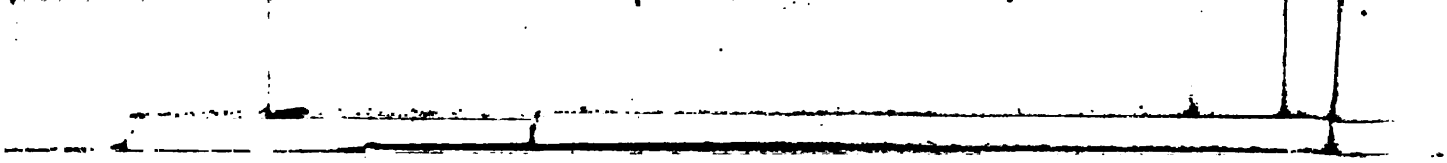


Digitized by Google

Digitized by Google

Gravé par Adam.

Digitized by Google



Digitized by Google

Fig. 2.

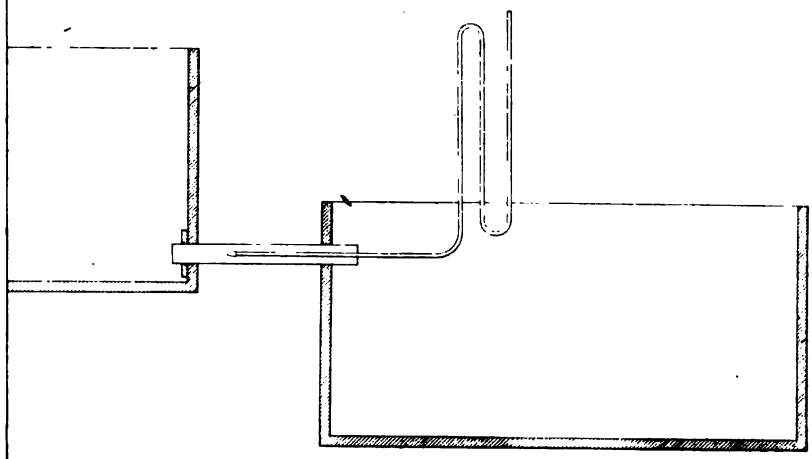
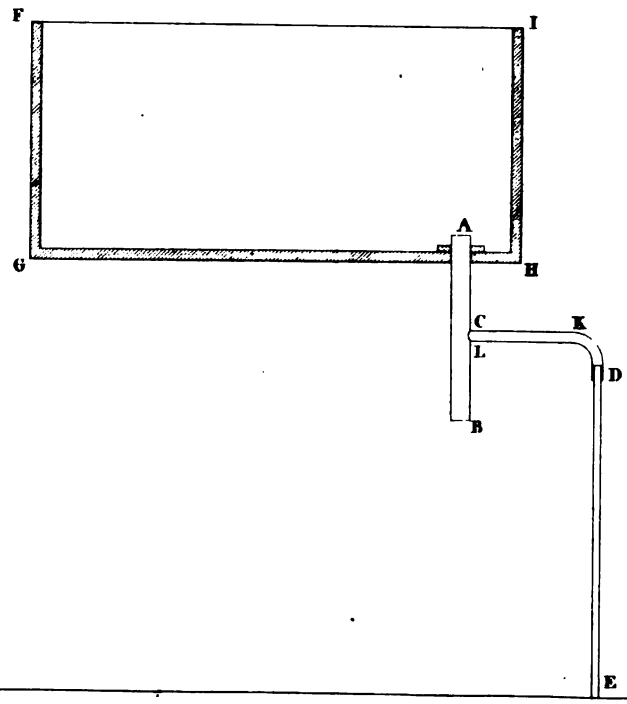


Fig. 3.



Digitized by Google

Digitized by Google

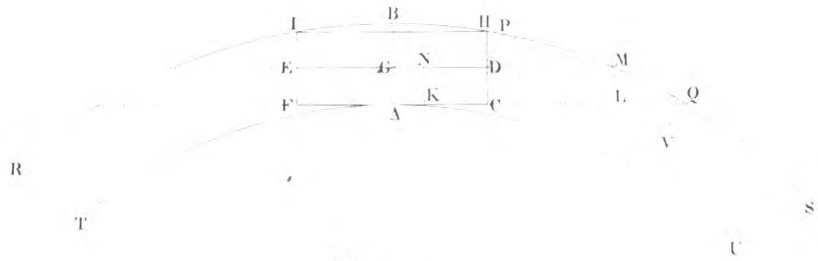
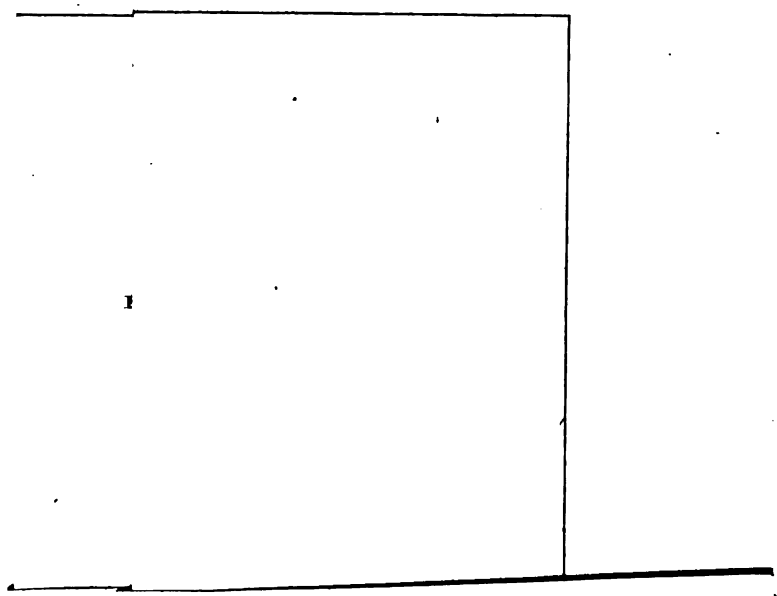


Fig. 1.

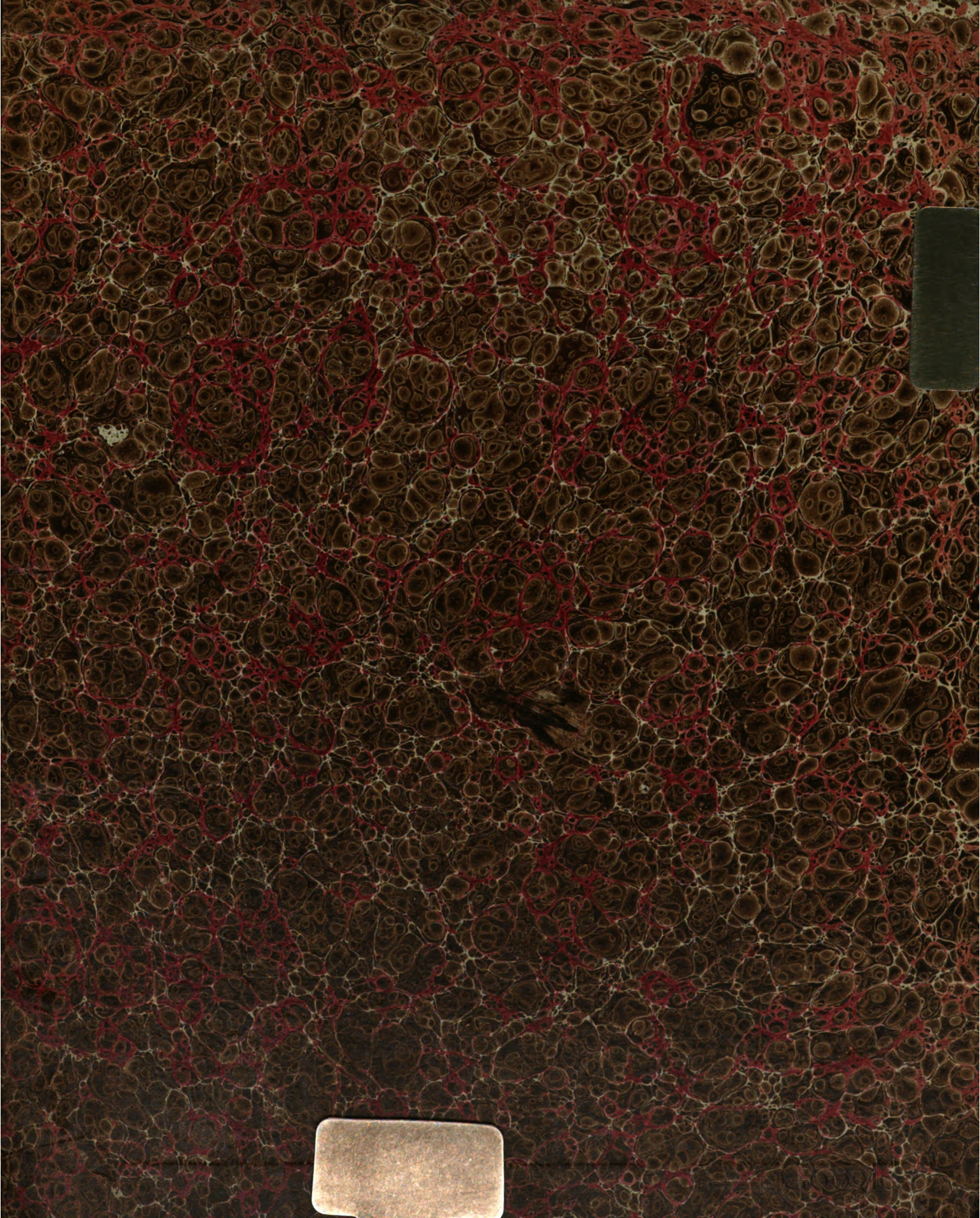
Digitized by Google

Planche V.



Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google